نشأة الحياة على كوكب

نشأة الحياة على كوكب الأرض

ترجمة: يعقوب يوسف أبونا



بغداد ١٩٨٩



تصدر عن
دار الشؤون الثقافية العامة

رئيس مجلس الادارة رئيس التحرير
الدكتور محسن جاسم الموسوي

تعنون كافة المراسلات
لرئيس مجلس ادارة دار الشؤون الثقافية العامة
العنوان
اعظمية ـ ص.ب ٤٠٣٢ ـ تلكس ٢١٤١٣٥
العنوان البرقي ـ فاق ـ تلفون ٤٤٣٦٠٤٤
بغداد ـ العراق

نشأة الحياة على كوكب الارض

البحث عن بداية الحياة

تأليف ويليام داي

تقديم (الاستاذة) لين مرغوليس

ترجمة

يعقوب ابونا

مراجعة د. ريمون شكوري

الطبعة الاولى ـ لسنة ١٩٨٩



GENESIS ON PLANET EARTH
The Search for Life's Beginning

اعددت هذه الترجمة العربية عن الاصل الصادر أساسا باللغة الانكليزية بطبعته الثانية بعنوان:

Genesis on Planet Earth
The Search for Life's Beginning

لعام ١٩٨٤

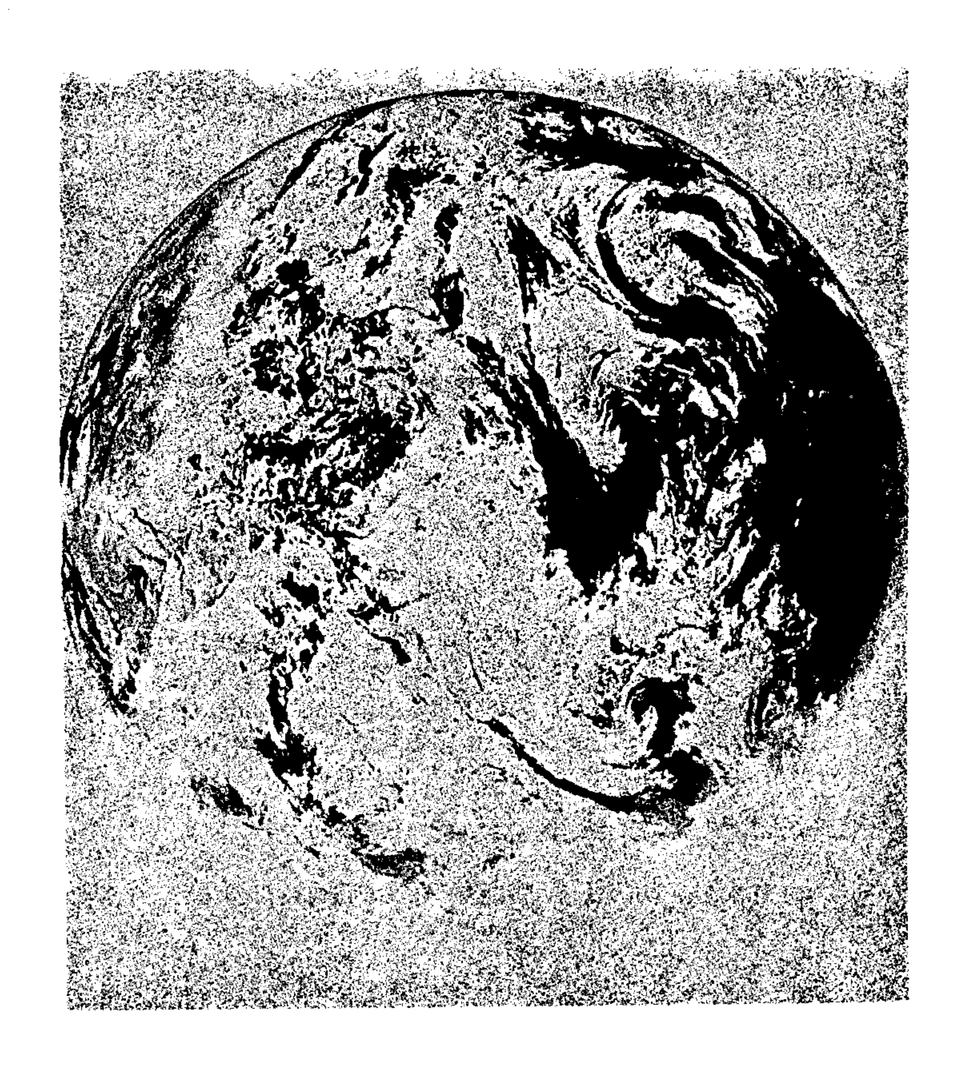
المؤلفه : ويليام داي
مع مقدمة بقلم لين مرغوليس
عن دار النشر : مطبعة جامعة يال
نيوهيفن ولندن

William Day
Lynn Margulis

Yale University Press
New Haven and London

المترجم

مسلسل اصول الاحياء



منظر الارض من الفضاء كما تم تصويره من المركبة ابولو في مهمة النزول على القمر الاخيرة من برنامج ابولو اوكالة الفضاء الامريكية ناسا

كشف الاشكال

الغلاف وصدر الكتاب : منظر للارض من الفضاء كما تم تصويره من المركبة ابولو ١٧ في رحلة النزول على القمر الاخيرة من برنامج ابولو لوكالة الفضاء الامريكية ناسا.

١/١ ـ الجهاز الذي استخدمه ميلر لمحاكاة التمثيل ما قبل الحياتي للحوامض الامينية والمركبات العضوية الاخرى.

١/٢ ـ نمو الجرف القاري لامريكا الشمالية

١/٣ ـ أحافير مجهرية من تشكيلة انفرواخت (مستنسخة باذن من جيه بروكس J. Brookes وجي شو G. Shaw في: «اصل وتطور المنظومات الحية » الصادر عن مطبعة اكاديميك، ، ١٩٧٣).

١/٤ ـ التصنيف الخماسي الممالك للحياة (باذن من آر ايج ويتيكر R.H. Whittaker في: مجلة العلوم ١٦٣، ص ١٥٠–١٦٠، ١٩٦٩ . حقوق الطبع والنشر للجمعية الامريكية لتقدم العلوم ١٩٦٩).

١/٤ ـ السيانوبكتيريا (غليوكابسا) مكبرة (٤٠٥٠٠) بالمجهر الالكتروني (باذن من ايج ستيوارت بنكراتس H. Stuartz Pankratz بجامعة ولاية مشيغان).

١/٦ ـ رسومات لقطعة من الفلين من كتاب هوك Hooke: الميكروغرافيا.

٢/٦ ـ مقطع مستعرض لجزء رئيسي من خلية ثديية مرئي من خلال المجهر الالكتروني (باذن من دينيس أو كالاغان Dennis O'Callaghan بالمركز الطبي لجامعة مسيسيبي. الصورة من قبل نان مانزفيلد Nan Mansfield)

٣/٦ ـ مخطط لخلية يوكاريوتية .

٣/٧ ـ صيغات بنيوية للغلوكوز D-Glucose .

٢/٧ ـ رسومات لبلورات حامض الصاموريك تبين الاشباح المرآتية للايسومرين اللامتناظرين الاثنيني .

١/٨ ـ صورة ضوئية مجهرية الكترونية لفيروس الثؤلول البشري (باذن من دينيس اوكالاغان بالمركز الطبي بجامعة مسيسيبي . ألصورة من قبل نان مانزفيلد).

٢/٨ ـ بنى الحوامض الامينية : ادنين وغوانين وثايمين وسيتوسين ويوراسيل.

٣/٨ ـ بنى الريبوز والدي اوكسي ريبوز (Deoxynucleotide) : ريبوز قليل الاوكسجين).

٤/٨ ـ بنى الدي اوكسي نووتيد

٥/٨ ـ جزء رباعي النووتيد من وهن من الدي ان اي يتالف من دي اوكسي نووتيدات الادنين (A) والثايمين (T) والسيتوسين (C) والغوانين.

٦/٨ ـ ترتيبة التزاوج النووتيدي في الدي ان اي

١/٩ ـ البنية المقترحة الآر آن أي ناقلة الالانين، والآر از اي ناقلة التيروسين (من ماديسون والآخرون Madison et al في مجلة علوم ١٥٣، ص ٥٣١،

لعام ١٩٦٦. حقوق الطبع والنشر محفوظة للجمعية الامريكية لترقية العلوم ١٩٦٦).

٢/٩ ـ ايضاح للريبوسومات في البولي هضميتيدات التمثيلية (واطسون: علوم ١٤٠، ص ١٧، ١٩٦٣ ـ حقوق الطبع والنشر للجمعية الامريكية لترقية العلوم، ١٩٦٣).

٣/٩ ـ المدونة الجينية.

١/١٠ ـ جزيئة من الدنا الثنائي الوهن الطولي (باذن دينس اوكالاغان بالمركز الطبي لجامعة مسيسيبي. الصورة من قبل نان مانزفيلد).

٢/١٠ ـ مؤلف سياق الحوامض الامينية من ٣٠ سيتوكرومة سي (مرغولياش Margoliash والآخرون et al في النشوء الجزيئي جزء ٢ لشركة نورث هولاند للنشر، ١٩٧١).

٣/١٠ ـ شجرة التطور السلالي مبنية على السيتوكرومة سي (عن اطلس سياق وبنية البروتين ١٩٧٢).

٤/١٠ ـ نموذج للموقع الفعال للفريدوكسين (هول والآخرون Hall في مجلة الطبيعة ٢٣٣، ص ١٣٨، ١٩٧١، حقوق الطبع والنشر لشركة دوريات ماكملان المحدودة ١٩٧١).

٥/١٠ ـ مقارنة بين سياقي الكلوستريديوم والكروماتيوم (هول والاخرون، في: النشوء الكيميائي واصول الحياة ـ شركة دي رايدل D. Reidel للنشر، ١٩٧٣).

٦/١٠ ـ بيت المدخل لقلعة هارليك.

٧/١٠ ـ كاكابيكيا بارغونيانا من ويلز (باذن من سانفورد سيغل Sanford Siegel جامعة هاواي).

١/١١ ـ اختراق الاشعاع ما فوق البنفسجي للماء بتوليفات مختلفة من اجواء الاوكسجين والاوزون (بركنر ومارشال Berkner and Marshall في: مداولات اكاديمية العلوم الطبيعية ٥٣، ص ١٢٢١، لعام ١٩٦٥).

١/١٢ ـ شجرة التطور السلالي للبروكاريوت واليوكاريوت مبنية على سياقي الفريدوكسين والسيتوكرومة سي (برناباس وشوارتز ودايهوف Barnabas, Schwartz- Dayhoff في: أصول الحياة ١٢، ص ٨٣، لعام ١٩٨٢).

٢/١٢ ـ تخطيط بياني للسلالات الكبرى لمنحدر البروكاريوت (فوكس والآخرون) Fox, et al في مجلة علوم ٢٠٩، ص ٤٥٩، لعام ١٩٨٠ حقوق الطبع والنشر للجمعية الامريكية لترقية العلوم ١٩٨٠).

١/١٣ ـ مخططات الطاقة لتفسخ اليوريا.

٢/١٣ ـ بنية مشتقات فوسفات الادينوسين.

٣/١٣ ـ التمثيل الحيوي للفلوتامين

١/١٤ ـ الطيف الكهرومغنطي.

٢/١٤ ـ بنية اليخضور ا.

٣/١٢ ـ ثنائي نووتيدادنين النيكوتيناميد (NAD)

٤/١٤ ــ استخدام الالكترونات العالية الطاقة من اليخضور المنشط لاختزال ثنائي فوسفات ادنين النيكوتيناميد المؤكسد (NADP ox) الى ثنائي فوسفات ادنين النيكوتيناميد المختزل

٥/١٤ ــ جبيلة يخضور الطماطة كما هي مرئية من خلال مجهرالكتروني (باذن من راندول اس بوبيان Randall S. Beaubien بجامعة مشيغان الحكومية).

٦/١٤ ــ تايض الكربوهيدرات بواسطة التنفس لانتاج ثلاثي فوسفاتالادنوسين اتب ATP .

٧/١٤ ــ مقارنة بين النواتج او الحصائل (مفرد: حصيلة) الطاقة من تحلل الغلوكوز الى حامض البيروفيك مقابل اكسدة البيروفات الى ثاني اوكسيد الكربون والماء.

١/١٥ ــ التطور النشوئي للفريسوكسينات (هول والآخرون في: النشوء الكيميائي الكوني واصول الحياة . شركة دي رايدل للنشر ١٩٧٣).

٢/١٥ ــ صورة ضوئية بالمجهر الالكتروني لجسيمة فيروس القوبا (فيريون Virion :. باذن دينيس اوكالاغان بالمركز الطبي لجامعة مسيسيبي . الصورةمن قبل آر. ابوديلي R. Abodeely ، من مجلة الفيرولوجيان، ص٥١٤،لعام ١٠٠٧).

١/١٦ ــ تضريسة ورقة البرسيم للآر ان اي الناقلة للالانين
(alanine transfer RNA)

١/١٧ ــ تترامر الداي امينوماليو نيتريل
(diaminomaleonitrile tetramer (HCN tetramer)

١/١٨ ــ بنية الاتب ATP

١/١٩ ــ بنية ادينيلات الحوامض الامينية .

٢/١٩ ــ بلمرة ادينيلاتالحوامض الامينيةفيالمونتموريلونيت (بيختهوروفيتس Paecht Horrowitz في: منظومات حيوية ٩، ص ٩٣ لعام ١٩٧٧).

٢/٢٠ ــ ثنائي هضميتيدة .

٣/٢٠ ــ الهضميتيدات المتحدة بواسطة رابط ثنائي الكبريتيد والروابط الهيدروجينية.

٤/٢٠ ــ بنية لولب الفا لبروتينة.

٥/٢٠ ــ تخطيط ايضاحي للبنية الاولية والثانوية والثالثوية لبروتينةالجرثومة مايوغلوبين (آر. ئي. ديكرسن R.E. Dickerson من عملية تحليل بالاشعة السينية وبنية البروتين، في: البروتينات، طبعة ثانية منقحة تحرير ايج نويرات H. Neurath المطبعة الأكاديمية ، ١٩٦٤، جزء٢، صفحة ٦٣٢).

٦/٢٠ ــ سياق الحوامض الامينية في ليسوزيم آح البيض (كانفيلد وليو Canfield and Liu، مجلة الكيمياء البيولوجية ٢٤، ص ١٩٩٧ــ٢٠٠٢، لعام ١٩٦٥).

٧/٢٠ ـ جزيئة الليسوزيم (مخططة من قبل السير لورنس براغ Sir Lawrance Bragg.

١/٢١ ـ فوسفور اميدات A phosphoramidate .

٢/٢١ ـ خماسي فوسفور اميدازول الادنوسين.

٣/٢١ ـ ثنائي وثلاثي فوسفات الادنوسين .

٤/٢١ ـ الآلية المفترضة لبلمرة أول فوسفات الثيامين القليل الاوكسجين (d-TMP) بالايميدازول (ابانيز والآخرون Ibanez et al في: النشوء الكيميائي واصل الحياة ، شركة نورث هولاند للنشر ١٩٧١).

٥/٢١ ـ مخطط بياني لتمثيل جينة باستعمال بولي نووتيدات التجيبر بطريقة خورانا.

١/٢٢ ـ الانعقادات المعدة من الجلاتين والصمغ العربي (باذن جورج هيلدنبرانت George Hildenbrandt من جامعة بنسلفانيا الحكومية).

٢/٢٢ ـ كريات مجهرية مكونة من البوليمر الحراري شبه البروتيني للحامض الاميني الحامضي المغلي في الماء (كنيون وشتاينمان Kenyon, Steinman في: القدرية البيوكيميائية biochemical predestinotion، من منشورات مكمبر وهيل ١٩٦٩).

١/٢٣ ـ وحدات بنيوية اساسية للمنظومات البيولوجية.

١/٢٣ ـ الذيلات والدهنوسومة (حويصلة).

٣/٢٣ ـ مخطط بياني يوضح ماخذ الحوامض الامينية بواسطة الالديهايد الى الحويصلة الدهنية (ستيلويل Stillwell في: منظومات حيوية Biosytems ٨ ، ص ١١١، لعام ١٩٧٦).

٤/٢٣ ـ النموذج المقترح لتكوين الحويصلات الثنائية المراحل بفصل التموج على الرقائق السطحية (surface films) (كولديكر والآخرون Goldacre et al في: الظواهر السطحية في الكيمياء والبيولوجيا، مطبعة برغامون ١٩٥٨).

٥/٢٣ ـ حويصلات منتجة في مستخرج من تجربة افتعالية للتمثيل ما قبل الحياتي للمركبات الدهنية (هارغريفز والآخرون Hargreaves et al في مجلة الطبيعة ، ٢٢٦، ص ٧٨ لعام ١٩٧٧).

٦/٢٣ ـ خطوات افتراضية في نشأة الاغشية الحية (هارغريفز وديمر Hargreaves and Deamer في: الاغشية الناقلة للضوء : بنيتها ووظيفتها ونشأتها ، مطبعة الاكاديميك ١٩٧٨).

١/٢٤ ـ نموذج مقترح للفسفرة الضوئية باستعمال الضوء ما فوق البنفسجي لانتاج الاتب (جيه ستيلويل في: البيولوجيا النظرية ٦٥، ص ٤٧٩، لعام ١٩٧٧).

كشف الجداول

مقدمة

أثناء الفصل الثاني من العام الدراسي ۱۹۷۸ وفي حومة مهمة تعليمية ضخمة، وردتني ببريد الكتب نسخة من الطبعة الاولى من كتاب ويليام داي « نشأة الحياة على كوكب الارض». حتى آنذاك لم يكن الكاتب ويليام داي ولا دار النشر «طالوس» معروفين لدي كليا، ومن نظرة سريعة على صفحات الكتاب وجدت انه ينتشر هنا وهناك في المتن صيغ التمثيل الضوئي والتنفس ، كلها مطبوعة بالآلة الطابعة اليدوية . بدا لي من الوهلة الاولى ان الصفحات مشحونة بعبارات من قبيل « نوع يعقب نوع وعتبة تلي عتبة في صعود متواصل على سلم النشوء والارتقاء » و « الانسان نفسه لن يتغير كثيرا ولا يتقدم أبعد من مجتمعه التكنولوجي لمجرد ان التكنولوجيا قد حلت محل التطور البيولوجي . ».

بدا ان داي كان قد عكف على تخليد المفاهيم المغلوطة الشائعة حول النشوء والتطور بينما أنا انفق الكثير من وقتي، اثناء مساقي النشوء والتطور اللتين أقوم بتدريسهما، في نقض وتفنيد مثل هذه الاقوال السائبة بعينها، ذلك لأننا نرفض رفضا باتا « النظرية الصنوفية » التي كانت سائدة في القرن التاسع عشر ، والشديدة التطابق مع نظرية «سلم الحياة» الارسطوطالية. وعلى نقيض فكرة التطور التدريجي للصنوف نحو كائنات ارقى، نقوم باستنباط وتطوير افكار حول نشأة الجينات ومعدلات انتشار الخصائص في المجموعات السكانية الطبيعية . انه من السخف الانكار ان الناس لا تزال تتطور، ونقوم بضرب الامثلة كميا على اثر الانتقاء الطبيعي على مجموعات سكانية مختلفة اليوم.

زيادة على ذلك يتحتم على أن أقوم اسبوعيا بمصارعة سيل من هذه النشوء الزائف، لا يخلو من نظريات دينية ، حول ما يفترض انه منموضوعات النشوء والتطور، ويشمل في جملته نداءات هاتفية ورسائل ومقالات وحتى كتب. ازاء وضع كهذا ، لا غرو اذن ان ارمي، بعد نظرة عابرة ، بكتاب داي حول التكوين في كومة « المرفوضات فلسفيا »، لاسيما وانه كان، بشريطه الاحمر البراق المخاط به، قد بدا لي اشبه بكتاب للتسابيح او المدائح الدينية منه بمرجع حول العلوم الطبيعية.

لكن هذا الامر أحزنني كثيرا، لأن الحاجة ماسة جدا الى مرجع علمي شامل وواضح حول نشأة الحياة.

لكن ميتشل رامبلر Mitchell Rambler ، زميلي في التعليم في مادة النشوء البيئي آنذاك ، ورئيس برنامج البيولوجيا الخارجية في مكاتب علوم الحياة لوكالة الفضاء الامريكية ناسا (NASA) بواشنطن الآن، تناول الكتاب من كومة المهملات وحمله معه الى البيت. وبعد أسبوع واجهني بتوصية ثابتة صريحة لنقوم باستعمال كتاب داي كمرجع دراسي تتميمي في الدورة الدراسية كوحدة شاملة حول أصول الحياة ونشأتها الاولى. حثني رامبلر على ذلك بحماس

شديد بقوله « اقرئي الاقسام حول اصل التمثيل المقترن لحامض النوويك والبروتين، واقرئي القسم الاول حول اشباه البروتين» فعملت بتوصيته ووجدت نفسي أعكف على قراءة الكتاب من الغلاف الى الغلاف، ودهشت للغاية من نفسي انني اسأت تقديره أول الامر، ورحت أشكر رامبلر بجزالة على اقتراحه، واخذنا نستعمل الكتاب باستمرار منذئذ.

ان المرء ليغفر لداي كليشيهاته البيولوجية والعيوب الواردة في الفصل الجيولوجي، وبصرف النظر ايضا عن النتاج العادي البيتي للمجلد الذي جرى توزيعه من عنوان خصوصي في « ايست لانسينك « بمشيغان » ويسر المرء مبتهجاً بكتاب جلي العبارة بالغ الاهمية متسق الاسلوب يربط معا الارصاد الفلكية والاكتشافات الجيولوجية والميكروبيولوجية ، ولاسيما الكيمياء ما قبل الحياتية، هاهوذا الكتاب المنشود، وقد افلح واضعه في معالجة تأريخ المعضلة الفكرية العملاقة حول أصل الحياة بوضوح وسلاسة بالغين، وبأسلوب في متناول الطلبة والدارسين تماماً.

والآن، في عام ١٩٨٤، وبعد ان تمت اعادة صياغة المتن على نطاق واسع، فقد تقلصت عيوب الكتاب الى حد كبير وبرزت قوته وجدارة مادته، فالاخراج قد تحسن كثيرا مع احتفاظ الكتاب بجلائه وشموليته الاصليين، وجاءت هذه الطبعة الثانية المنقحة نتاجا متقنا وخليقا بالاهتمام.

يشرح داي بجلاء خال من كل غموض كيف قد تم تحويل مسالة اصل الحياة من مصدر للتحديسات والتخمينات الفكرية الى مسالة في العلوم التجريبية والارصادية ، يفترض داي بكل صواب ان مسالة اصل الحياة ونشأتها تقع كليا ضمن نطاق الحاول العلمية ، وهو يرى ان امرا يسيرا واحدا، هو اصول المونومرات، لا يتخطى الا بقليل دائرة المسائل الكيميائية العادية، ثم يعرض التقدم الهائل المنجز في هذا المضمار بأسلوب في غاية الوضوح.

لكن ما أسرع ما يتعقد الموضوع ويتلابس، ان مسالة ظهور الحياة من مونومرات كيميائية عضوية وجزيئاتها الكبرى اكثر تعقيدا وتواشجا الى حد بالغ. ان المسألة المركزية هنا هي أصل المنظومات الذاتية التكون المتأيضة الناشئة من الكيميائيات، وهي مطابقة بذاتها لمسالة ظهور الخلية البروكاريوتية في حدها الادنى، فتمتد، من البيوكيمياء والبيولوجيا، من حدها الاقرب، الى أعماق غياهب الميكروبيولوجيا اللاهوائية في حدها الاقصى، وهنا بالذات، في وصف هذا الحد الكيميائي البيولوجي، وهو لب المسألة ، يبرز نبوغ داي بتفوق، فهو يميز التجارب المنطبقة ذات العلاقة ويقدم خدمة جليلة كبرى للخبير البيولوجي والخبير الكيميائي في تقييمه الدقيق للتفاصيل غير ذات العلاقة ، ويشرح المحددات الحالية للعناصر المختلفة التي يرتكز عليها تفسيرنا لظهور المنظومة الكيميائية الذاتية الادامة المسماة بالحياة، انما تتضاءل براعة داي قليلا في معالجته لمادة الوراثة والجينات وبيولوجيا الخلية وجيولوجيا ما قبل دهر الحياة الظاهرة والبيولوجيا المتطورة للانسان ، غير ان الامر الحقيق بالتقدير

هنا هو انه يكتب عنها بوضوح غير منقوص وبأسلوب مباشر ومشوق وأخاذ.

تقف الطبعة الثانية المنقحة من كتاب داي فريدة بذاتها بصفتها الكتاب الذي كنا ننشد، انه نتاج أصيل يفيض بالشروح الواضحة الشاملة لاصل نشأة الحياة بمفهومه العلمي، وهي الدراما العظمى التي وقعت على سطح الارض قبل حوالي اربعة آلاف مليون سنة خلت، زد على ذلك، ان الكتاب مصمم من البداية للطلاب والدارسين . فالطلاب والمعلمون والباحثون والمشاهدون لعالمنا في عصره الفضائي هذا كلهم سيرحبون ايما ترحيب بهذا الكتاب المرجع ويهنئون مطبعة جامعة يال لطرحه وجعله في متناول جمهور اوسع.

جامعة بوسطن
كانون الثاني ١٩٨٤

لين مرغوليس
بروفسورة البيولوجيا



مقدمة المؤلف

الى ما قبل ثلاثين سنة خلت ، كانت أية دراسة هادفة لكيفية بداية الحياة على الارض البدائية تبدو خارج نطاق التحقيق العلمي، اذ كانت حتى ابسط المتعضيات المجهرية المؤلفة من جزيئات كبرى ومعقدة للغاية المسماة البروتينات ، -كانت- متواشجة ومتداخلة وملتبسة الى حد كان التحليل العلمي الدقيق آنذاك يقف عاجزا كليا عن خرق حاجزها لتحري غمارها والتعرف على مكنونها ، وكانت الجينات هي المفتاح الى تكاثر الحياة . هنا كان يفترض ان تمثيل البروتينات يتم في نوع من صفيحة مغايرة أو مرسومة، لكن لما كانت العناصر المكونة للبروتينات ، وهي الحوامض الامينية ، تحصل في الطبيعة فقط كنواتج لمنظومات بيولوجية فقط، ظل هذا السؤال قائما ومحيرا: كيف اذآ تكونت الخلايا الاولى؟

ثم تقاطرت الاحداث كلها في نفس السنة، عام ١٩٥٣، حين أعلن فريدريك سانجر Frederick Sanger أنه قد تمكن هو والعاملون معه من تحليل البنية الاولية لجزيئة بروتينية ، وأعلن جيمز واطسون James Watson وفرنسيس كريك Francis Crick عن تمكنهما من فك مغالق الاساس الكيميائي للحياة ووجدا أنه يتكون من حامض نوويك مزدوج اللولبية ، ثم جاءت تجربة ستانلي ملر Stanley Miller التي كشفت عن كيفية امكان اختلاق اللبنات البنائية للحياة دون وجود مسبق لأية خلية حية.

انطلقت البحوث حول أصل الحياة، بعد أن تحررت مما كان يصيبها من الشلل وبعد ان استحثت بعصر الفضاء، انطلقت نحو عهد من الاكتشافات والفتوحات العلمية بواسطة تلك الانجازات الثلاثة العلمية الكبرى لم يلبث ان تبددت أمامه المفاهيم القديمة لتحل محلها نظريات جديدة فيما غيرت التجارب المختبرية صورة الارض البدائية، واماطت الاوضاع الجديدة اللثام عن الادلة الى كيفية بداية الحياة.

واليوم قد أصبح في مقدور العلم اعادة رسم كيفية ظهور الحياة على الارض في باديء أمرها، انها قصة مثيرة وخلابة ممتعة في تدرج البحوث وفي النتائج. والمسألة التي كانت تجابه العلماء في بحوثهم: في أي مستوى من الوجود المادي كانت للمادة القابلية على ردم الفراغ واجتسار الهوة التي كانت تفصل العالم البيولوجي عن العالم الجمادي الصرف؟

وكي نجد اصل نشأة الحياة يتوجب علينا أن نرجع الى ظروف قد انمحت وزالت ، ولم يبق لها أي اثر في الوجود.

يقتضي بنا ان نعود الى عصر سابق قد انقضى وتلاشى في الماضي السحيق حين كانت الاحوال خلاف ما هي عليه اليوم، كما يجب أن نرجع ايضا الى بعد مختلف مغاير للابعاد التي نألفها اليوم ، يلزم أن نعود الى عهد الصغائر الدقيقة الذي ينأى أشواطا شاسعة عن متناول ادراكنا الحسي، الى مستوى كانت الحياة توجد فيه اقرب الى الحاجز البيني الذي يفصل بين الحي واللاحي،

فانه هنالك على ذلك المستوى وفي تلك الاحوال لزمن سابق بعيد نجد العتبة التي افضت الى عالم الاحياء من العالم الجمادي الصرف.

كلمة شكر وتقدير

ان معظم المواد الخلفية لهذا الكتاب مستمدة من المناقشات العديدة والمثيرة التي قمت باجرائها مع ويليام ستيلويل William Stillwell وفرانك دينز Frank Denes وآخرين خلال فترة مكوثنا في معهد التنشئة الجزيئية والخاوية في ميامي. والشروح التحليلية الثمينة التي أدلى بها ويليام ستياويل هي التي مكنت من ظهور الطبعة الاولى من هذا الكتاب.

كما انني مدين للغاية للبروفسورة لين مرغوليس لما أبدته من دعم ومقترحات ساندت بشأن اعداد هذه الطبعة المنقحة. كذلك ازجي جزيل شكري الى لويس براون Louis Brown على تصحيحاته في مادتي الطاقة والفلك، والى بن ستولر Ben Stoller على تبادل الافكار والمواد، والى لورا راندول Laura Randall على التشجيع الذي لقيته منها، والى العديد من قراء الطبعة الاولى الذين اغدقوا بتعليقاتهم التشجيعية.

لقد قام جورج هيلدنبرانتودنيس اوكالاغان وجون باسفورد وبن وساندي فان Dennis O'Callaghan، وجون باسفورد John Basford، وبن ساندي فان أوزدول Ben and Sandy Van Osdol، بقراءة النص الاصلي وتقديم المواد وابداء آراء لا تثمن في مناقشة ملدة الموضوع، وقد كان ساندي فان وزدول متعاونا على وجه الخصوص في مراجعة مسودات النص المنقح.

ولابد من ابداء كلمة تقدير ايضا الى ستانلي ميلر Stanley Miller، وجيه ويليام شوبف J. William Schopf، وبريستون كلاود Preston Cloud، وكارل ووزه Carl Woese، وديفيد ديمر David Deamer، وويل هارغريفز Will Hargreaves، لما أسدوه من مساعدة في تصويب فصول معينة في كلتا الطبعتين الاصلية والمنقحة. لكل هؤلاء وغيرهم جميعا ممن ساهموا بالمواد في الكتاب يضم هذا المجلد عرفانا بفضلهم.

المؤلف

توطئــة

ان ما يرويه وليام داي، واضع هذا الكتاب الذي بين يدي القارىء الآن، عن نشأة الحياة على كوكب الارض يدفع المرء الى الافتراض باحتمال تواجـد حياة بدائية جدا من نوع أو آخر لا تزال في مستواها دون المجهري أو المجهري أو ارقى من ذلك بقليل أو كثير على الكواكب الترابيــة المتصلبــة (terrestrial) الاخرى كالارض في منظومتنا الشمسية ، وهي ثلاثة: عطارد، وهو أقرب الكواكب الى الشمس ويبلغ بعده عنها (٣٦) مليون ميل، ودرجــة الحرارة في نصفــه الحار المضاء على الدوام تقع بحوالي (٥٤٠٠) مئوية وفي نصفه البارد المظلم على الدوام بحوالي (ــ ٥٢٠) مئوية ، والزهــرة ، وهي تكاد تكون بحجـم الارض تقريبا ، لها جو كثيف للغاية تلبده غيوم سميكة ، وتبعد عن الشمس بمسافة (٦٧) مليون ميل؛ والمريخ، أو الكوكب الاحمر، وهو أكثر الكواكب شبها بالارض من حيث المناخ ودورته حول نفسه وحول الشمس ، رغم ان جاذبيته أقل من نصف جاذبية الارض، وقطبيه مغطيان بالثلوج الدائمة ، ويبلغ بعده عن الشمس (١٤٢) مليون ميل. اما الكواكب الخمسة الأكبر والابعد والمنعوتة بالخارجية، خلاف الاربعة الداخلية المذكورة، فانها لا تزال في حالتها الغازية . فالمشتري، وهو أقربها الى الشمس ويبعد عنها فقط (٤٨٤) مليون ميل في المعدل، لا زالت كثافة كتلته تقل عن كثافة الماء. واحتمال وجود حياة بدائية لا يقتصر على كواكب منظومتنا الشمسية بل لابد وانه ينطبق ايضا على المنظومات الشمسية الاخرى في مجرتنا، ام النجوم، التي تضم مائة الف مليون منظومة منها ما هو اكبر من منظومتنا بكثير جدا، وايضا على كواكب المنظومات الشمسية في المجرات الاخرى المنتشرة بالآلاف وملايين الملايين اللامحدودة ، ومنها ما هو اكبر بكثير من مجرتنا، في الفضاء أو الكون الرهيب .

ان تطور الحياة على كوكب رهن بتطور الكوكب ذاته ، والارض لا تزال في تطور متواصل ، وهكذا احياؤها معها ايضا، فاذا تباطأ كوكب في تطوره أو توقف عن التطور في احدى مراحله ، كما هي الحال في قمرنا مثلا، فان احياءه ايضا تواجه المصير نفسه ، واما أن تبقى في مستواها بدون مزيد من التطور، ان لم يكن ذلك حد التطور الاقصى للكوكب، أو تتضاءل وتنقرض كليا اذا اختلت البيئة المؤاتية لبقائها او اقتحلت او تعرضت لمؤثــرات اخرى تعدم الحياة . تدل الدراسات ان العناصر الاثنين والتسعين الطبيعيــة الموجـودة في الارض هي نفسها التي يتألف منها باقي الكون ولا يوجد غيرها. ويقول داي ان الفحوص والتحليلات المختبرية الكيميائية والبيولوجية المجراة على النيــازك المختلفــة

الساقطة على الارض من الفضاء ، وكذلك الصخور المستجلبة من القمر، جميعها قد كشفت عن احتوائها لنفس الفلزات الموجودة في الارض مع نسب مختلفة من بعض نفس المواد والمركبات العضوية ما قبل الحيوية التي تكونت منها الحياة بالاصل على الارض، كالسكاكر الاولية والبروتينات، وهذه هي المواد التي تكونت منها اللبنات البنائية للحياة بشكل ما يسمى بهضميتيدات (peptides)وبولي نووتيدات (ply nucleotides) تضامت والتامت بحكم ظروف وجدت في حينها، متأثرة بالغازات والابخرة المتصاعدة من جوف الارض وبمقذوفات الاندلاعات البركانية ، ومستمدة الطاقة من ضوء الشمس ومصادر الطاقة الاخرى في بيئتها الارضية، فتمخضت عن حياة بشكل خلية وظيفية متنامة بدائية، ثم ان الاحياء الارضية من حيوانية ونباتية، بما فيها الانسان نفسه، تتالف فقط من (٤٠) من هذه العناصر الطبيعية ، وجميعها عادية وشائعة ولا يوجد بينها اي عنصر نادر او غريب. ومن بين هذه الاربعين تكفي ثمانية عشر منها فقط لتكوين الحياة ، ان الجبيلة الاولية او البروتوبلازمة(protoplasm) تتالف من (٣٦) عنصرا لكن اربعة من هذه فقط تؤلف (٩٨٪) من مجموع تركيبة الجبيلة، وهذه هي الكربون ، والهيدروجين ، والنيتروجين، والاوكسجين، مع زيادة نسبة الكربون على الجميع.

كلنا بالاصل ننحدر من خلية بدائية واحدة تولدت ونمت وتكاثرت وتطورت وتشعبت في دورات مرحلية تكرارية لا حصر لها عبر ما يناهز اربعة آلاف مليون سنة، لا شأن لها غير البحث عن الغذاء مندفعة بالفطرة الى التطور والارتقاء.

ان عالم الاحياء عالم رهيب هائل وعجيب الى حد يفوق التصور ويتجاوز المعقول، اعتبارا من الاجسام الحية المرئية اعتياديا، حيوانية ونباتية ، ونزولا في الحجم الى اصغر الجراثيم وادقها التي تحتاج الى التكبير الى عشرات ومئات الآلاف من المرات للتمكن من مجرد رؤيتها، ثم من هناك تبدأ تستدق في الصغر الى ما دون قدرة المجهر الادراكية وتتدرج في الصغر حتى الفاصل البيني ما بين الحياة والجماد ثم تتضاءل وتتلاشى في الجماد الصرف او ما هو لا يزال بنظرنا جمادا صرفا. ومفردات اجزاء الحياة او لبناتها البنائية لا تشكل حياة بذاتها، وانما تضامها والتئامها معا هو الذي يشكل الحياة بفعل تحفز فاعلية احدها بفاعلية الاخر.

يحكي المؤلف داي قصة نشاة الحياة على كوكب الارض باسلوب شيق اخاذ وبمفهوم التجارب المختبرية الاعتمالية للتفاعلات الكيميائية التي كان محتملا وقوعها في بيئة الارض البدائية ، والمستدل عليها وفق الدراسات والتحريات العلمية المختلفة والتجارب المقامة عليها. هذه هي الارض قد غدت كتلة تراكمية صلبة يغمرها ضوء الشمس وتسفعها اشعته ما فوق البنفسجية، فتتفاعل عناصرها الطبيعية الى ان تتمخض عن خلية حية تنطلق ساعية وراء الغذاء حفاظا على بقائها بدافع الغريزة فتتكاثر وتطلق افرازاتها في البيئة فتطورها وتغيرها وتتطور هي وتتغير معها، وتتسارع وتيرة اختلاق الحياة اولا على نطاق دقيق مجهري وفي تجمعات المياه الضحلة التي نمت واتسعت بالتدريج وصارت بحارنا

التي نألفها اليوم، وتتعاقب الاحقاب والدهور والحياة في تزايد وتنوع مطردين ويبدأ الاوكسجين بالتراكم في فضاء أو جـو الارض. وفي كل حقبـة تظهـر احياء تظل باقية طوال بقاء البيئة المؤاتية لبقائها وتنقرض بزوالها لتظهر احياء ارقى منها تلائم البيئة الجديدة فتعيش فيها وتتفـاعل معها وتعمل على تغييرها حتى اذا ما بلغ تغير البيئة مرحلته الحرجة أو الخطيرة تبدأ هذه الاحياء بالتضاؤل بينما تكون قد ظهرت أخرى أكثر ملاءمة للبيئة المتغيرة فتزدهر الجديدة وتنقرض القديمة ، وهكذا دواليك الى ان ظهر الانسان قبل زهاء خمسة أو عشرة ملايين سنة خلت. لكن الانسان الاول الذي يرجع أصله بعض العلماء، بما فيهم داي نفسه ، الى ما قبل اربعة الى خمسة ملايين سنة ، بينما يقول آخرون ان اول ظهور الانسان كان قبل حوالي خمسة وعشرين مليون سنة، وهذا هو اقدم تقدير لظهور اجناس عديدة من الانسان ، كانسان النياندرتال (Neanderthal) وانسان الكروماغنون (Cromagnon) وغيرهما . اما نحن ، الانسان البشر ، فلم تعثر التنقيبات الجيولوجية على اي اثر لنا اقدم من زهاء نصف مليون او ستمائة الف سنة مضت فقط. وحتى الى ما قبل ثلاثين او اربعين الف سنة كانت اجناس من الانسان غيرنا تعيش أواخر عهدها آنذاك وانقرضت وزالت تماما . وتشير التنقيبات الجيولوجية ايضا الى ان الانســان الحـالي بدأ يقلع عن التجوال والصيد ويستقر في مجتمعات زراعية قبل فقط حوالي عشرة آلاف سنة، وليس اكثر.

لا يجزم المؤلف في أقواله بشيء ، ولكنه يطرح الامثلة مع البراهين الثبوتية عليها فتحكي هي قصتها بنفسها ، ويرسم لنـا كيف ان الخط الفـاصل بين الكيمياء العضوية واللاعضوية وهمي، وذلك في مدرج من التقارب وتضاؤل الفوارق وتزايد التشابه الى ان يتلاشى آخر فارق فلا يبقى لدينا غير مجرد كيمياء فقط، وتلك هي كيمياء الارض البدائية على فطرتها ما قبل الحياتيـة قبل زهاء اربعة آلاف مليون سنة.

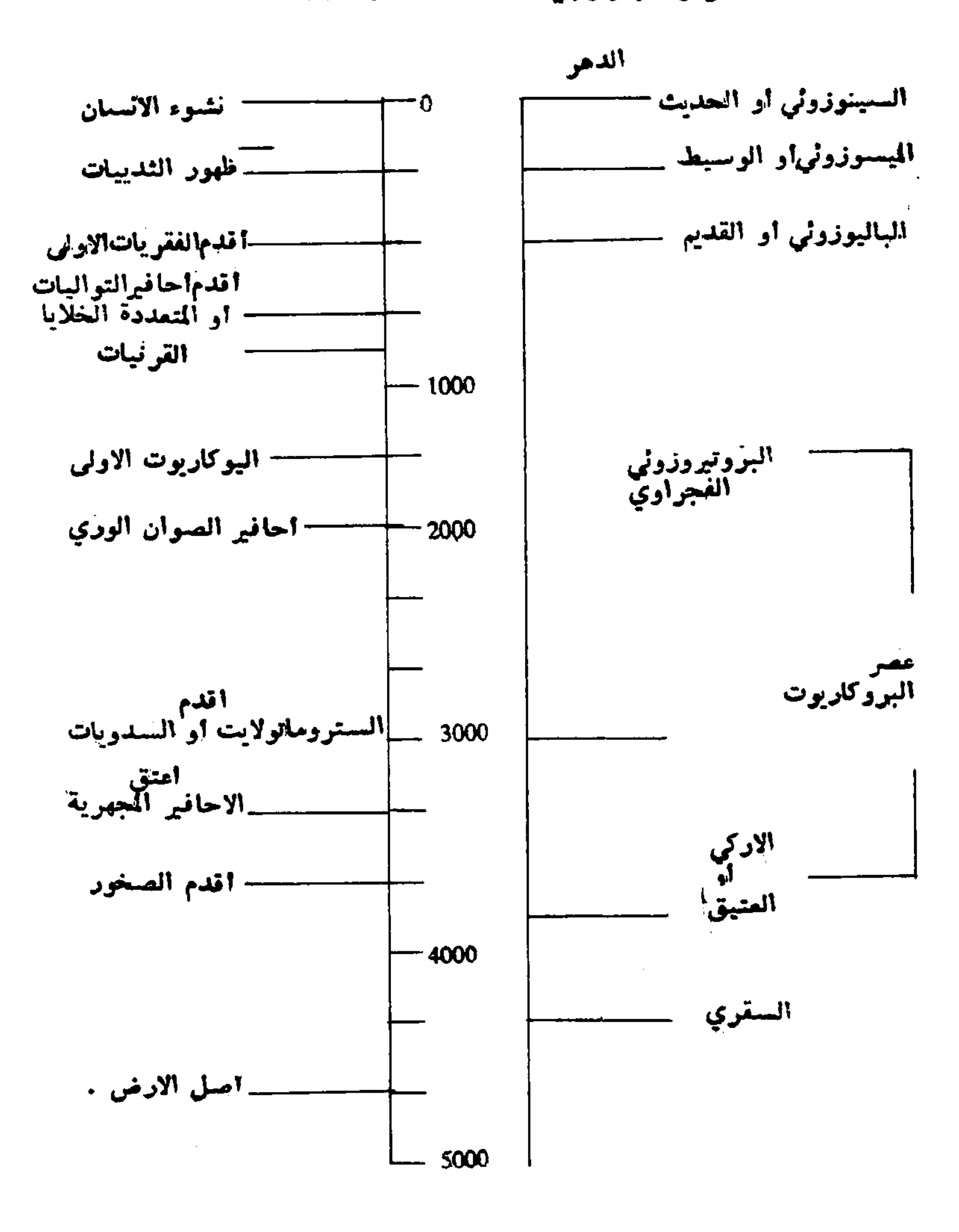
ان الانسان والاحياء والطبيعة كلها في تطور ارتقائي متواصل ، لكن الانسان قد اخذ يتحكم بتطوره وتطور بيئته بفضل علومه وتكنولوجيته، وربما انه قد سارع الخطو، اما الى اين فذلك ما لم يلتفت احد حتى الآن الى معاينته من اي منظور. لكن ربما لا تزال المرحلة الحرجة تكمن اشواطا بعيدة في المستقبل. والانسان الآن في بداية عصره الفضائي، عصر ارتياد العوالم الاخرى والتنقـل بين الكواكب في الكون، ولابد أن تصبح الاسفار الفضائية في يوم ما كالسفر بالطائرة اليوم وفي الغد القريب . ذلك لأن الطائرات التي ستستطيع قطع حوالي نصف طول محيط الارض او أكثر في ظرف ساعة واحدة او اقـل على وشك الانطلاق في الاجواء مع حلول التسعينات من قرننا العشرين هذا.

والسؤال في الفقرة السابقة «اما الى اين؟» هو السؤال الذي يطرحـه داي نفسه الذي يربط بين تطور الانسان وتقدمه التكنولوجي، ويحذر من ان استمرار الانسان في صب ذهنيته التفكيرية في الآلات ربما يؤدي سهوا الى افلات زمام التكنولوجيا من يديه وتصبح الآلات ذاتية التكاثر والتطور والتصرف فتسبق

الانسان وتعلو عليه فيكون بذلك آخر عهد له في سيادته على الارض والطبيعة، ويتراجع دوره أمام الادمغة الآلية الجبارة ويتخلف عنها، وفي النهاية ، كخلية البروكاريوت قبل أكثر من الف مليون سنة، يبدأ بالانكماش والانقراض، أو ربما يظل بعضه في البقاء، كما هي في البروكاريوت اليوم، في مجتمعات ضئيلة منزوية في بيئات منعزلة على هامش الوجود لا تفقه شيئا مما يجري حولها وعاجزة كل العجز عن مواكبة مسيرة التبدل الطفرة الذي تشعب منها أو تولد بفعلها.

المترجم

الزمن الجيولوجي والتشكيلات الجيولوجية





الفصل الاول
اللبنات البنائية

كان الوقت احدى عصريات الخريف من عام ١٩٥١، حين باشر هارولد يوري Harold Urey، أستاذ الكيمياء الفيزيائية ومكتشف عنصرالديوتيريوم، وهو أحد اشكال الهيدروجين الثقيل ، بالقاء محاضرته في جامعة شيكاغو في موضوع يشكل احدى دراسات عمره، ألا وهو أصل المنظومة الشمسية. ففي آخر كتاب له[1]، انجز حديثا آنذاك ، كان قد افترض ان نظرا الى الاحوال المنقوصة للسديم الشمسي الذي أدى الى تكون الكواكب فان الجو البدائي للارض لم يكن يتضمن الاوكسجين مثلما هو شأنه اليوم ، وانما تألف فقط من غازات الميثان والامونيا والهيدروجين.

جلس جميع الطلاب وهيئة التدريس يستمعون باهتمام. لقد تغيرت النظريات حول أصل الشمس والارض والكواكب على تعاقب القرون ، ولم يعد يعتقد الآن بأن الكواكب تكونت من قطرات المادة المنصهرة المنقذفة من الشمس اثناء اصطدام عنيف لها بنجم آخر. في عام ١٩٤٣، أي قبل ذلك بثماني سنوات فقط ، كان عالم ألماني قد طرح بأن الكواكب تكونت بفعل وتراكم المواد الصلبة المتناثرة من الدراذير الدوامة لسحابة هائلة من الغبار والغازات ، ومن جهة أخرى لم يكن الا في عام ١٩٢٩ ان اكتشف ان الكون يتألف في معظمه من غاز الهيدروجين وان وجود الاوكسجين الطليق فيجو الارض يشكل واقعة كونية غريبة.

واصل البروفسور محاضرته موغلا فيموضوع آخر محبب له هو اصل الحياة، فقد اعتقد العلماء في العموم انه لابد ان الحياة بدأت على الارض الاولية قبل آلاف الملايين من السنين بطريقة يمكن تفسيرها علميا ، لكن

التدليل على كيفية امكان حصول هذا كان عسيرا للغاية ، وكنتيجة كانت الدراسات حول أصل الحياة قد بقيت في حالة من الشلل . لقد بينت علوم الحياة ان جميع اشكال الحياة تتألف من مواد كيميائية معينة هي لبناتها البنائية ، وهذه المواد هي الحوامض الامينية (amino acids) ، والسكاكر (sugars)، والدهنيات (lipids) ، ونوعان من القواعد الحلقية اللامتجانسة (heterocyclic bases)يسميان بالبيورينات purines والبيريميدينات (pyrimidines) وهذه المكونات مرتبطة معا في بوليمرية كبيرة ، فالحوامض الامينية تشكل البروتينات ((proteins) ، والسكاكر تشكل البولي سكريدات (polysaccharides) ، والقواعد تشكل الحوامض النوويك (nucleic acids) واتضاد هذه البوليمرات (polymers) المشتبكة في وحدات مغلفة بأغشية دهنية يشكل الخلايا الحية، غير ان الصعوبة التي حيرت العلماء واحبطت جهودهم طوال أكثر من مائة وخمسين عاما هي ان اللبنات البنائية تبدو انها منتجة في الطبيعة فقط من قبل متعضيات (organisms) حية. هناك اذن يكمن اللغز المتناقض المراوغ، فاذا كانت النباتات والحيوانات الحية هي فقط التي بوسعها أن تقوم بتمثيل (synthesise) الحوامض الامينية وغيرها من اللبنات البنائية اللازمة لاختلاقها هي بذاتها ، كيف، اذن، تمكنت الحياة أصلا أن تبدأ على الارض؟

أخذ بعض الطلاب يدون الملاحظات ، لكن الاغلبية تركت افكارها تحوم حول المسألة بحثا عن أجوبة جاهزة عن السؤال . كانت الندوة قد بدأت تزداد انهماكا، فالنظريات حول المادة والطاقة والكون اخاذة ومثيرة بحد ذاتها، لكن التحديس حول تكون الحياة من مواد جامدة صرف اقتدح المخيلة وآذن بالخطر.

استمر يوري يحاضر قائلا : لابد انه وجدت على الارض البدائية

ظروف قد انمحت وزالت الآن وكانت هي التي أتاحت للحياة أن تبدأ، لأن انعدام الاوكسجين الطليق وانخفاض الضغط الجوي كانا ليؤديان الى نشوء بيئة كيميائية مختلفة. اذ، لكي تتمكن الخليـــة من النشوء لابد أن بعض المركبات العضوية كانت قد تواجدت مسبقا قبل نشوء الحياة ذاتها. انما هذا كان مجرد افتراض ، ولم يكن يوجد أي برهان تجريبي على امكانية تكون في الارض ما قبل البيولوجية أو الحياتية اية مواد عضوية لازمة لنشأة الحياة مطلقا، مع ذلك، ان المنطق يفرض حتمية اختلاق مركبات عضوية على الارض البدائية بطريقة ما قبل أن تتمكن الحياة من التكون.

وفيما واصل يوري محاضرته حول الحيرة في كيفية بداية الحياة كان أحد الطلاب من السنة الاولى من الدراسات العليا ، وهو شـــاب من كاليفورنيا يدعى ستانلي ميلر Stanley Miller يصغي باهتمـــام بـــالغ ، كان ميلر في الحادية والعشرين آنذاك، وقد جاء الى شيكاغو من باركلي في ايلول وكان لا يزال يبحث عن مسألة بحثية مناسبة ليعمل عليها لاعداد رسالته. انالنقطة التي أثارها البروفسور يوري تبدو معقولة تماما ، لكن لربما ان البرهنة على كيفية تكون المادة العضوية في الاحوال البدائية للارض عملية تستغرقزمنا طويلا، لذلك، ازاح ميلر الفكرة جانبا عن ذهنـــه واستسلم لرأيه الاول في البحث عن مسألة أكثر نظرية.

انفضت الندوة بفترة الاسئلة المعهودة. ألم يقم البيوكيميائي الروسي الكسندر اوبارين Alexander Oparin ايضا بالبحث في امكانيـــة تكون المركبات العضوية في الضغط المنخفض قبل وجود أي اوكسجين فيه؟ أجاب يوري بالتأييد واوضح أنه لم يقم أحد بالتحقق من صحتها في اختبار تجريبي.

في ذلك الشتاء انطلق الطالب الشاب المتخرج من كاليفورنيا يباحث مختلف أساتذة الكيمياء حول اهتماماتهم البحثوية الخاصة بهدف العثور على مشروع

مجز يعمل عليه لاعداد اطروحته ، وفي الاخير اعتزم على الدراسة على يدى البروفسور ادورد تيلر Edward Teller ، الحجة المعروفة في الفيزياء الذرية، في موضوع كيفية تكـون العناصر في النجـوم الشديـدة الحـرارة ، لكن بعد انقضاء ستة شهور أعلن البروفسور تيلر اعتزامه على مغـادرة جامعة شيكاغو ليفتتح مختبرا في مدينة ليفرمور بكاليفورنيا ، وعاد ميلر مرة أخرى يواجه مشكلة البحث عن مشرف جديد يتدرب تحت اشرافه وموضوع جديد يعد منه رسالته ، وعادت به الذاكرة الى ندوة يوري والاسئلة التي كانت قد أثارتها. ربما ان العمل الذي تستلزمه التجربة لن يكون مختصا بالقدر الذي تراءى له بالاصل وكلما أمعن في التفكير بالامر كلما راقت له المسألة أكثر واشتد حماسه لها بتزايد.

وعندما قام بمفاتحة يوري بشأن اجراء التجربـة لتحري كيفية امكان تكون المركبات العضوية على الارض ما قبـل الحيويـة (prebiotic earth) قوبل حماسه بحذر بالغ ، وشرح له البروفسور احتمال أن يؤول مثل هذا البحث الى مهمة شاقة وطويلة وعقيمة ، واقترح عليه دراسة امر وجود عنصر الثاليوم (Thalium) في النيازك . وفقط بعدما أدرك يوري مدى تصميم الطالب على المضي بفكرته وافق على قيـامه بخوض مسألة كيفية تمثـل المركبات العضوية وحذره ان لم تسفر الدراسة عن نتيجة ملموسة في ظرف ستة شهور فيتوجب على ميلر آنذاك التخلي عن التجربة والانتقال الى بحث تقليدي أكثر من ذلك ليضمن النجاح لاطروحته.

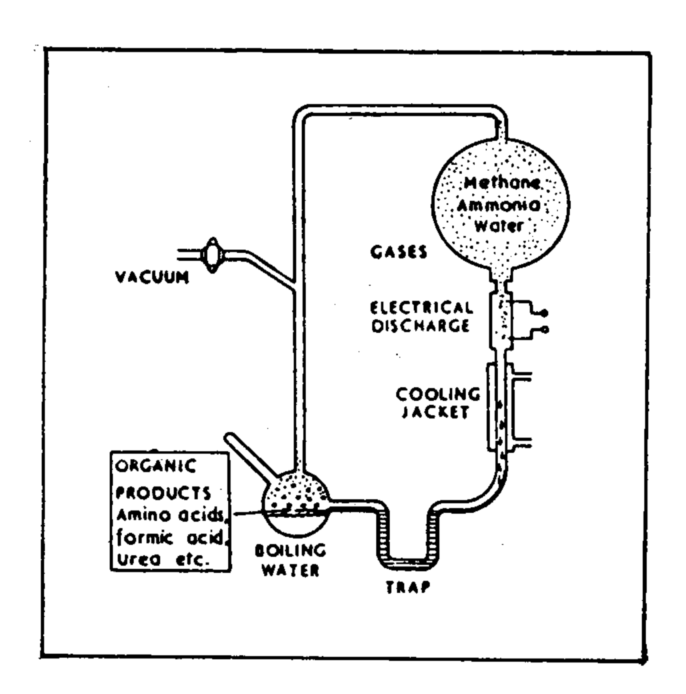
خلال الاسابيع التالية قام ميلر بدراسـة بحـث يوري حول هـذا الموضوع(٢) وطالع كتاب اوبارين(٣)، حاول بالتعاون مع يوري تصميم جهاز مختبري بوسعه أن يحاكي الاحوال الجوية المفترضة للارض البدائية . ان المطلوب هو شيء يشبه مصدرا طبيعيا ليفعل فعله على خليط من الغـازات

لتوليد تفاعل كيميائي، لكن لما كان الجو يتلقى الرطوبة المتبخرة من البحار، والتي تتكاثف ثانية لتعود الى السطح كأمطار ، فانه يلزم ان يشتمل الجهاز على كمية من الماء ايضاء تم رسم التصميم واودع الى مصنع الزجاج للانشاء.

بعد أسبوع كان قد تم تحويل الرسم الى انموذج كامل من الانابيب والقوارير الزجاجية المتصلة • تألف الجهاز الكامل من حجرة زجاجية بسعة خمسة لترات مركبة فوق انبوبة زجاجية في باطنها قضيبا الكترود تنغستن مع رأسيهما متقاربين لبعضها بما يكفي ليتسنى للشرارة القفز عبر الثغرة بينهما ، وفي اسفل هذه ربطت مكثفة موصولة بأنبوبة بشكل (يو: U تمتد الى قارورة مرتجع الماء كما تم تمديد انبوبة ارتجاع من القارورة عودة الى الحجرة. كان هذا جهازا مغلقا حيث الماء المغلي في القارورة يمر كبخار عبر الشرارة الكهربائية ثم يتكثف ويعود الى القارورة • كان الجهاز يمثل انموذجا للاحوال الجوية في الارض البدائية ويحاكي وقوع العواصف الرعدية في الجو البدائي.

نصب ميلر الجهاز وأخذ يتأمل تركيبته ، قرأ التعليمات الخاصة بلفيفة تسلا (Tesla coil) التي ستقوم بتوليد الشرارة الكهربائية وذهل عندما وجد انها تنتج ستين الف فولط • تردد ازاء هذا وبدأت الشكوك تغشي افكاره حول امكانية اجراء التجربة • ان كلا من الهيدروجين والميثان يشكل خلائط متفجرة مع الهواء، وأي تسرب سيؤدي الى كارثة لا محالة، وحتى مجرد فكرة اقتداح ستين ألف فولط في الماء بدت محفوفة بالمخاطر ، ثم لما كان الجهاز كتيما للهواء فان تسخين الماء الى درجة التبخر والتكثف سيمدد الغازات ويمكن أن يولد ضغوطا خطرة • قام ميلر باعادة الجهاز الى نافخ الزجاج وطلب مبادلة موضعي المكثفة والانبوبة المحتوية لثغرة الشرارة.

بدا الجهاز الآن اكثر أمانا بعد تغيير تركيبته لتأتي الشرارة عقب تكاثف بخار الماء، وقرر ميلر وضع التجربة في حيز الاختبار، صب الماء في القارورة وفرغ الهواء من الجهاز وضخ محله خليطا من الميثان والهيدروجين، ثم قـام بفحص الجهاز ليتأكد انه خال تماما من كل أثر للاوكسجين ، وفحصه ايضا للتأكد من عدم وجود أي تسرب فيه ووجده كتيما كليا، وبحذر قام بقبس لفيفة تسلا بمقبس الكهرباء وبدأ يصعد التفريغ الكهربائي (electric discharge) بتمهل الى ضغط ستين الف فولط ، وبدأت عقائق براقة زرقاء تتطفر عبر الثغرة بين الكترودي التنغستن بفرقعة ايقاعية.



الشكل ١/١ ــ الجهاز الذي استخدمه ميلر ليحاكي التمثيل ما قبل الاحيائي للحوامض **الامينية والمركبات العضوية الاخرى.**

لم يبدُ أن أي شيء آخر قد حصل وعاد ميلر الى رحلته ليحاول ان يدرس، لكنه بين حين وآخر كان يذهب الى الجهاز ليتفقده طوال تلك الأمسية ليرى ما اذا يمكنه أن يلمح اي تغيير فيه. وعندما حان وقت الذهاب الى البيت قرر ان يترك الجهاز يعمل طوال الليل . في الصباح التالي عندما دخل الى المختبر رأى طبقة باهتة من الهيدروكربون عائمة على سطح الماء في القارورة . لكنه لم يجد أي جديد في ذلك، فقد كان باحثون قبله قد لاحظوا النتيجة نفسها عند قيامهم بتعريض الميثان لتفريغ كهربائي، فترك التجربة تستمر لعدة ايام اصبحت طبقة الهيدروكربون خلالها سميكة ، لكن التحليل الذي أجراه للماء بعد ذلك لم يكشف عن وجود اي شيء يشبه مواد عضوية ذات صفة بيولوجية.

ربما ان الستين الف فولط هذه أقل خطرا مما بدا له للوهلة الاولى. قام ميلر باعادة الجهاز الى المصنع وطلب اعادة المكثفة وأنبوبة الالكترودين كلا الى موضعها الاصلي، وبعد اسبوع كان مستعدا للقيام بمحاولة أخرى.

وقام بتكرار التجربة . في هذه المرة قام بتدفئة الماء في القارورة الى حرارة منخفضة بلفيفة تسخين، ومرة أخرى ترك التجربة تستمر متواصلة، بعد يومين رأى ميلر ان الطبقة الهيدروكربونية لم تعد تظهر وان المحلول كان قد اصبح اصفر باهتا، يبدو ان شيئا ما كان يحدث، قام بتحليل الماء ووجد ان النتائج توحي بشيء ما ولكنها لم تكن جازمة.

مرة أخرى قام بتكرار التجربة ، وفي هذه المرة رفع ميلر الحرارة حتى جعل الماء يغلي بشدة ، وفيما رأى الماء يقطر من المكثفة علم ان الجهاز كان قد تحمل الضغط الى ان بلغ حالة ثابتة وكان الماء يجري في الدورة بانتظام. ظل التفريغ يقدح ويتفرقع عبر الثغرة فيما كان الماء المغتلي يسوق أبخرته مع الغازات عبر التفريغ الكهربائي، ووقف ميلر ينظر بارتياح والتجربة تعمل

بالطريقة التي صممت لها في محاكاة الجو البدائي.

ليس بوسعه ان يفعل أي شيء غير الانتظـار ، وتعاقبت الساعـات الواحدة تلو الاخرى والشرارة تستمر بالاقتداح وأبخرة الماء والغازات تدور وتدور في الجهاز مفتعلة دورة الماء المتبخر من البحار الى الجو حيث يختلط بالغازات الجوية ويتعرض للعواصف الرعدية ثم يعود في النهاية الى البحار بصفة الامطار . لم يظهر أي تغير ملموس لفترة طويلة ، وتركت التجربـة لتستمر طوال الليل.

وفي الصباح التالي عندما دخل ميلر الى المختبر لاحظ في الحال ان الماء قد تغير لونه الى الوردي. اغتمره الحماس واندفع بسرعة الى الجهاز لينظر عن كثب، ثم عندما رأى ان رتينة التسخين كان لها لفيفة عارية كانت تتوهج حمراء من خلال الماء فتر تهلله، وبتمهل اخفض الرتينة ونظر الى المحلول في القارورة ، ووجد أن لونه لا يزال ورديا، ان تفاعلا كيميائيا معينا كان قد حصل حتما، رغم كل شيء، وبدأت افكاره تتسابق، هل هذه بورفرينات؟ porphyrins وهي احدى مجموعات مشتقات البيرول pyrrole الموجودة في السيتوبلازمة cytoplasm (أي الحشوة) التي تتحد مع الحديد لتشكل الصبغة اللابروتينية المسماة هيم heme في هيموغلوبين الدم، وتتحد مع المغنيسوم لتشكل اليخضور ، أي الكلوروفيل chlorophyll في النبات) ان البورفيرينات تعطي اللون الاحمر للدم . اذن هل يجري انتاج البورفرينات في هذا التحاكي لاحوال الارض اللاحيوية؟

لكنه ترك التجربة تستمر، وتزايدت غمقة اللون ، وبعد انقضاء اسبوع واحد كان الماء في القارورة قد اصبح حتما احمر.

واخيرا حان وقت اختبار النتائج. أوقف ميلر التجربة وترك الجهاز

يبرد، ثم استخرج عينة من القارورة وقام بتحليلها بطريقة الكروماتوغرافيا الورقية (paper chromatography)، وهي الطريقة المعتادة المتبعة في فصل واكتشاف مقادير صغيرة من المادة . بعد انجاز الكروماتوغرامة او الشريط الورقي المتضمن لترتيب الخطوط أو الانطقة الناتج من عملية الفصل، قام برش الشريط بغبرة من محلول النهدرين (ninhydrin) واحماه في الفرن. وفي غضون دقائق بدأت بقع ارجوانية تظهر مشيرة الى المكونات . ان هذه المركبات هي حوامض امينية!

قام ميلر بتحليل عينته البالغة غراماًواحداًبطريقة كروماتوغرافيا التبادل الانيوني والكاتيوني anion = تيار سالب و cationتيار موجب في التحليل الكهربائي)، ثم فلق المكونات بطريقة التحليل التقاطري (fractionation) وعمل مشتقات كيميائية من الحصائل الاكثر غزارة ، وقارن نقاط ذوبانها بتلك الخاصة بالحوامض الامينية المعروفة ، بعد ذلك قام بتعقيم الجهاز برمته وكرر التجربة للتثبت من ان هذه النتائج لم تكن معزوة الى تلوث بكتيري، لكن النتائج لم تدع أي مجال للشك، لقد كانت حوامض امينية بالفعل، ذات المركبات التي تستخدمها النباتات والحيوانات في بروتيناتها[٤]. والآن لم تعد توجد أية معضلة حول كيف تمكنت المتعضيات من انتاج المركبات العضوية قبل وجودها هي بذاتها ــ فقد كانت اللبنات البنائية موجودة مسبقا على الارض البدائية.

كانت هذه التجربة التي اقتحمت المغالق وشقت الدرب ، كما انبساطتها والحصيلة العالية من المنتجات ، والمركبات البيولوجية النوعية المنتجة باعداد محدودة في التفاعل، كانت كافية للبرهنة على انالخطوة الاولى في نشأة الحياة لم تكن مطلقا مصادفة وانما حدثا حتميا كان لابد من وقوعه . وبالنتيجة كشفت هذه التجربة ان المكونات الاساسية التي منها يتم انشاء

المنظومات البيولوجية (biological systems) هي مركبات لها خاصية امتصاص الطاقة . لذلك فانه مع الخليط الصحيح من الغازات يمكن لأي مصدر طاقة بوسعه تكسير الاربطة الكيميائية (chemical bonds) أن يطلق تفاعلا يفضي الى تكون اللبنات البنائية للحياة[٥].

الفصل الثاني
الارض الاولية

كانت الارض البدائية عارية قاحلة تطلع عليها الشمس بسرعة في كل صباح وتلفحها عبر السماء السوداء بلهب شديد من الاشعاع ما فوق البنفسجي. وكان تراكم الكتل اللامنصهرة من الاتربة والخلائط الفلزية والحجارة التي كونت الكوكب بالاصل، قد تركه أشبه الى حد كبير بوجه القمر الجاف المقحل، وفيما تابعت الشمس مسارها النهاري كانت تمر بسرعة عبر السماء في ظرف ساعات قلائل لتغيب تحت الافق بنفس سرعة طلوعها، اذ في ذلك العالم السقري (Hadean) العديم الهواء والماء كانت فترة قصيرة لا تتجاوز مدة خمس ساعات ليس الا[1].

ومع حلول الليل كان القمر يطلع بكتلته الرهيبة قريبا من الارض بحيث يبدو انه يكاد يلامس سطحها وهو يبزغ من فوق الافق مضيئا وجهها الموحش المجدب بوجهه النير المتوهج الهائل. وفي كل مرة فيما كان يطلع بسرعة كانت جاذبيته تفعل فعلها في اثارة الامواج المدية في اللابا Lava اللزجة المنصهرة المنصبة على سطح الارض من الاندلاعات العديدة . كان القمريدور مباشرة ما وراء حد روش (Roche's limit) البالغ ٢ر٨٦ انصاف قطر (radii) أي على بعد من الارض لا يتجاوز أحد عشر الف ١١٠٠٠ ميل، وأفلت من التحطم بدخوله في منظومة حلقية شبيهة بالحلقة الخارجية الدائرة حول الكوكب زحل على بعد قدره ٢ر٣ امثال طول نصف قطر الكوكب . وتعاقبت الشهور بسرعة فيما التف القمر حول الارض في ظرف ٥ر٦ ساعة في مسار ينحرف ٤٦ درجة تقريبا عن الاستواء الفلكي.

ومهما بدا قفار الباطن الصخري، فقد تضمنت الارض الباطنية فيخلقتها جوهر وجود جديد . كان الكوكب لا يزال في الجوهر كتلة غير متسقة قد تراكمت ونمت بدرجة حرارة منخفضة بما يكفي لتمكينهـا من احتفـاظها بالمكونات المتطايرة (Volatile constituents) المختزنة في باطن بنيتهاالصخرية. كما كان ايضا محتبسا فيباطنها النظائرالمشعة لعناصر البوتاسيوم والاورانيوم والثوريوم . ومع مضي الزمن امتصت الصخور الحرارة التي تعذر عليهـا التبدد والمتولدة من التفكك الاشعاعي لعناصر البوتاسيوم ٤٠، والاورانيوم ٢٣٥ و٢٣٨، والثوريوم ٢٣٢، وبدأت درجة حرارة هـذه الصخور ترتفع. وبعد مضي ملايين من السنين رفعت السخونة المتراكمة درجة الحرارة الى ما فوق نقطة انصهار السيليكات (silicates) وفيما ذابت الصخور أخذت تتمدد فانخفضت كثافتها وخف وزنها واندفعت نازحة الى الاعلى بينما غـاصت المواد الاكثر كثافة الى الاسفل . وبالنتيجة أدت هذه الآلية الحركية الجديدة الى تسريع عملية التباين الطبقي لباطن الارض المبني على الكثافة ، التي كانت قد ابتدأت اثناء مرحلة التنامي التراكمي.

أدت الحرارة الى تحرير المكونات المتطايرة المحتبسة في الروابطالكيميائية فخلقت هذه بدورها ضغوطا هائلة تحت السطح الصخري الضعيف ، وبمرور الزمن بدأت القشرة الخارجية تعجز عن احتواء غليان الاوار في البـاطن فتصدعت وتفتحت في شقوق واخاديد وانتفثت المتطايرات والمواد المنصهرة الى الخارج في ثورانات واندلاعات بركانية وينابيع حارة. وتحررت غازات الاوكسجين والهيدروجين والنيتروجين والكربون المنجمدة منذ عهد بعيدفي مؤتلفات (combinations) لا متطايرة مع المعادن بمثابة اوكسيدات وهيدرات وتريدات وكربيدات (oxides, hydrates, nitrides, carbides) ، تحررت مـن العناصر اللاغازية وانتفثت وترشحت الى السطح حيث بدأت تكون جوا .

وهنا أخذ كل الاوكسجين الطليق يتفاعل بسرعة مع الغازات المنقوصة ليكوّن الماء، وتألف الغلاف الغازي الذي بدأ يتشكل حول الكوكب من الهيدروجين والنيتروجين وبخار الماء وأول وثاني اوكسيد الكربون وحامضي الكبريت والكلورين. وتحرر الفسفور الملتصق بالصخور بمثابة الفلز اباتيت (apatite) بفعل الحرارة الشديدة وانتفث الى السطح مع الارمدة البركانية ليتفاعل بسرعة مع الماء.

وتحت السطح الحار بدأ المرجل يمتخض في تيارات انتقالية عظيمة تحمل الحرارة والمواد الاخف الى أعلى نحو الخارج فتهبط الصهارة الكثيفة من الحديد والنيكل الى الاسفل نحو مركز الارض ، وارتفعت العناصر المشعة الملتصقة انتقائيا بالشبيكة البلورية للفلزات الاقل كثافة وتصاعدت الى السطح. في هذه المرحلة لم تكن توجد اية قشرة متضحة بعد ، انما كان هناك مجرد سطح خارجي للكتلة التي لما تزل تتسق، اما اللب الباطني الذي كان يزداد سخونة بفعل حرارة التفسخ الاشعاعي من الاعلى وضغط الجاذبية الهائل ، فانه بدأ ينمو ويكبر مع نزوح الحديد المنصهر الى الباطن.

لم يكن السطح مستقرا كما هو عليه اليوم بتألفه من مواد أخف وزنا، واستمر في الانهيار والخسوف الى الاسفل ليزيح الصهارة التي تدفقت الى السطح وانصبت عليه في سيول عظيمة من اللابا ، وأخذت الصخور الذائبة التي وصلت الى السطح تتجسأ وتتصلب بشكل البازلت (basalt) الناعم الملمس ، وهو صخر بركاني اسود فحمي الى أربد قاتم في اللون ، بينما تألفت الفلزات الرئيسة من بيروكسين سيليكات الفيرو مغنيسيوم (ferromagnesium silicate pyroxene) والبلاجيوكلاز المتضمن للكالسيوم (calcium-bearing plagioclase)

كانت الارض كدسا متجمعا من المواد الصخرية التي كانت أغلب مكوناتها

الفلزية تتألف من سيليكات الحديد ، والالمنيوم ، والمغنيسيوم، والكلسيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم. كما كانت اوكسيدات الحديد موجودة ايضا وكذلك الاباتيت ، وهو فلز فوسفات الكلسيوم . شكلت فقط اربعة عناصر، وهي الحديد والاوكسجين والسيليكون والمغنيسيوم ثلاثة وتسعين بالمائة (٩٣٪) من مجموع الوزن ، ونزح أغلب الحديد الى مركز الارض بينما اصبحت السيليكات هي الفلزات الرئيسة للطبقات الخارجية.

ان الصخور النارية، تلك المتبلورة من ذائب السيليكات المسمى بالصهارة (magma) ، هي اقرب تشبيه لمادة الارض البدائية . والصخور يمكن أن تتألف من فلز مفرد مثل الكوارتز SiO_2، لكنها في العموم تتكون من مؤتلف من الفلزات تشكل التركيبة والخصائص الملموسة المميزة لها. وعندما تتصلب الصهارة عند السطح أو بالقرب منه يؤدي النمو البطيء لفلزاتها التكوينية الى خلق صخور غائرة أو جوفية (plutonic) التي يشكل صخر الغرانيت (granite) صنفا شائعا منها، والغرانيت هو واحد من أخف الصخور وزنا ويتضمن سيليكا أو الظر بنسبة ستة وستين بالمائة (٦٦٪) أو اكثر، بينما يتضمن صخر البازلت خمسين بالمائة (٥٠٪)، وتشكل الصخور الاندسيتية (Andesitic) السلسلة الوسيطة.

١/٢ ـ الفلزات الرئيسة في قشرة الارض

الفلز	الوزن بالنسبة المئوية
SiO_2	١٨ر٦٠
AL_2O_3	٦١ر١٥
CaO	١٧ر٥
Na_2O	٩١ر٣
FeO	٨٨ر٣
MgO	٥٦ر٣
K_2O	١٩ر٣
Fe_2O_3	١٤ر٣
TiO_2	٠٦ر١
P_2O_5	٣٠ر٥

المصدر : الورقة المهنية ١٢٧ (١٩٧٤) حول المسح الجيولوجي للولايات المتحدة، للسادة اف دبليو كلارك (F.W. Clarke) **وايج اس واشنطن** (H.S. Washington)

ظلت الارض حارة ماحلة طوال مئات الملايين من السنين فيما كانت البراكين والثورانات الباطنية تتفجر وتصب أدخنتها وابخرتها السامة بوتائر هائلة. لم تكن توجد أية محيطات، وكان الجو ضئيلا للغاية والسطح مقحلا ومحفرا تخدشه الشقوق والاخاديد والاندلاعات النارية المنبثقة من الباطن. كانت الارض آنذاك لتبدو للناظر جدباء ضئيلة المصير ، لكن كميات هائلة من الماء محتبسة في الصخور بشكل هيدرات (hydrates) كانت قد اخذت تتحرر وتنطلق الى الجو وتبقى هناك طالما كان السطح حاراء وبعد مضي زمن مديد للغاية ، ومع الهواء مشبعا وسطح الارض آخذ بالبرود وقعت ظاهرة جديدة.

أمطر الجو وتبخر المطر، ثم نزل مزيد من المطر . كان المطر يهتن على السطح الصخري العاري وينخر في الصخور ويتجمع في احواض او منخفضات مستوية عظمى. لكن ذلك لم يكن المطر العذب المألوف لربيع الارض، انما مطر شديد المرارة مفعم بالحوامض الناخرة منتفث من احشاء الارض، ، ومشحون بكبريتيد الهيدروجين، والكربون وكلوريد الهيدروجين. وكانت المتطايرات الرئيسة المنبثقة من البراكين تتألف من الماء وثاني اوكسيد الكربون وكلوريد الهيدروجين بنسبة ٢٠: ١:٣ على التوالي، وتضمن المطر بالتقريب مولارا واحدا من حامض الهيدروكلوريد (Molar : وحدة قياس جزيئية غرامية . ومولار من المحلول يتضمن غراما جزيئيا واحدا بالوزن من المذاب لكل لتر من المحلول).

لكن فيما كانت الامطار حامضية جالبة معها الكلوريد والبروميد والكبريتيد: وثاني اوكسيد الكربون: كانت الصخور قاعدية بالصوديوم، والبوتاسيوم ، والكلسيوم . كان المطر يذيب الصخور الى نقطة التعادل ، وحيث تبخر الماء كونت الاملاح سهولا ملحية مستوية واسعة.

وفيما استمرت البراكين بتفريغ جوف الارض من الغازات كانت بنفس الوقت تبني الجو وتخلق البحار • كان الجو منقوصا خاليا من الاوكسجين والبحار مجرد احواض تصمر ضحلة تتجمع فيها الامطار• لقد تحتم مضي ما يقرب من الفي مليون سنة قبل ان يوجد الاوكسجين بكميات ملموسة ، وجاءت البحار الى الوجود فقط بالتنامي المتواصـــل عبر العصور من المياه المزاحة من الباطن الصخري للارض•

الجدول ٢/٢ ـ المواد المتطايرة الموجودة الآن على سطح الارض او بالقرب منه والتي لم تنجم عن التعرية الصخرية•

المادة المتطايرة	الوزن (١٠ ^-٢٠^ غرام)
الماء	١٦ ٦٠٠
الكربون بصفة ثاني اوكسيد الكربون	٩١٠
الكبريت	٢٢
النيتروجين	٤٢
الكلورين	٣٠٠
الهيدروجين	١٠
بورون وبرومين وآركون وفلورين الخ	٤

المصدر : معدلة من دبليو دبليو روبي (W.W. Rubey) **نشرة الجمعية الجيولوجية الامريكية ٧ ١١٤ـ١١١١ ٦٢ (١٩٥١)•**

وفي مستقبل يبعد الفي مليون سنة من ذلك العصر ستكون المحيطات قد بلغت خصائصهـا المعروفـة اليوم (أنظر جـدول الزمن الجيولـوجي والتشكيلات الجيولوجية)• لكن محيطات الارض السقريةتألفت من المحاليل الناشئة عن التصول الحامضي للصخور البازلتيـة • كان الجو خاليا من الاوكسجين تسود فيه بيئات رسوبية لا هوائية مع ضغوط لثاني اوكسيد الكربون تبلغ حوالي ١٠^-٢ر٥ جوا، أو عشرة امثال مستواها اليوم (الضغط الجوي الحالي يساوي ١٤ر٦٩ رطلا (lbs)للبوصة المربعة الواحدة) وفي مثل هذه الاحوال كان(يدس) مياه البحر اكثر انخفاضا مما هو عليه في عصرنا هذا،

يدس PH = معكوس درجة تركيز ايون الهيدروجين في المحلول، والمحاليل المتعادلة لها يدس قدره ٧، بينما تكون المحاليل الحامضية في يدس من ٠ــ٧، وقاعدية في يدس من ٧ الى ١٤)، وكانت محتوياتها من الكلسيوم اعلى، وربما كانت البحار ايضا مشبعة بالنسبة الى السيليكا أو الظر اللامتبلور او اللاشكلي (amorphous)• وبالاضافة الى ايونات أخرى من الصخور البازلتية ، فان الحديد والكبريت المنقوصين كانا يكونان بنسبتيهمـا الموجودتين في الصخور وفقط عند تدني يدس من التعادل كانت ايونـات الالمنيوم تبدأ بالترسب بمثابة الهيدروكسيد وتتحد مع السيليكا لتكوّن سيليكات الالمنيوم العديمة الكاتيون، وطالما كان كلوريد الهيدروجين يتجاوز ثاني اوكسيـد الكربون كانت البحار لتبقى متضمنة محتويات عالية من كلوريد الكلسيوم ولم تكن الكربونات (Carbonate) لتترسب مثلما فعلت في ازمنة لاحقة•

فيما كان الجو يتكون بدأت تحدث تغييرات مهمة ففي المستوى الاعلى كان الاشعاع من الشمس يفصل جزيئات الماء الى هيدروجين واوكسجين، فكان الهيدروجين يتسرب الى الفضاء الخارجي بينمـا تفـاعل الاوكسجين

بسرعة مع الغازات المنقوصة وتحول مرة أخرى الى ماء، واستمر الفصل الضوئي يستهلك بعض الماء على هذا المنوال ، لكن لما كان الماء هو المتطاير الرئيس المندفع الى السطح بفعل الحركة البركانية ، فانه كان يتراكم بوتيرة أسرع بكثير من وتيرة استهلاكه ، وفيما كان ثاني اوكسيد الكربون ينتفث من البراكين الى الاعلى تحددت كميته في الجو بفعل امتصاصه في البحار ، وبهذه الطريقة بقي مستوى ثاني اوكسيد الكربون في الجو منخفضا نسبيا٠

لقد ساد الاعتقاد في العموم بأن حرارة الارض ارتفعت الى مرحلة حارة في ذلك الزمن دافعة بالماء والمتطايرات الاخرى الى جو كثيف من حيث كانت تتكاثف وتنزل في زمن لاحق بعدما كانت الارض قد بردت بما يكفي لحصول ذلك٠ لكن ويليام روبي[٢] (William Rubey)، الذي قام باجراء دراسة لهذا الامر ، وجد براهين مقنعة باستحالة امكان حصول ذلك مطلقا٠ انما بدلا من ذلك يبدو انه لم يحصل في أي زمن من تاريخ الارض قط ان وجد في الجو اكثر من مجرد كسر ضئيل من المتطايرات المنتفثة من باطن الارض٠

ان كمية ثاني اوكسيد الكربون المطمور بشكل كربونات (carbonates) وكربون عضوي في الصخور الرسوبية تبلغ ستمائة ضعف (٦٠٠) أكثر من جميع الكربون الموجود في انطقة (جمع نطاق) الجو البحرية والحياتية والعليا (hydrosphere, biosphere, atmosphere)٠ ولو كان في الجو مجرد واحد بالمائة (١٪) من ثاني اوكسيد الكربون المحتبس حاليا في الصخور لكان مستوى يدّ في البحار بأحجامها اليوم قد انخفض من ٨ر٢ الى ٥ر٩٠

تبين ان للتوازن بين ثاني اوكسيد الكربون الموجود في الجو وذلك الممصوص في البحار أهمية عظمى للغاية ، وذلك لأن ثاني اوكسيد الكربون

الموجود في الجو يخلق ما يسمى بظاهرة المستنبت الاخضر • اذ، كالزجاج في المستنبت الاخضر ، ان ثاني اوكسيد الكربون الموجود في الجو شفافللضوء المرئي ولكنه يمتص الاشعة دون الحمراء المولدة للحرارة • وعندما يمتص سطح الارض الضوء الساطع عليه من الشمس تقوم المواد الصلبة الساخنة فيه باعادة بث قدر كبير من هذه الطاقة بشكل اشعاع دون الحمراء غير مرئي• فاذا كان مستوى ثاني اوكسيد الكربون في جو الارض عاليا فوق العادة فانه سيجري اعادة امتصاص هذه الطاقة في الهواء بدلا من انبثاثها الى الفضاء الخارجي، ، وهذا يؤدي الى ارتفاع حرارة الارض • انما بامتصاص ثاني اوكسيد الكربون والحفاظ على مستوى تركيزه في الجو منخفضا (حوالي ٠٢٤ر٠٪ ــ اربع وعشرون من الالف بالمائة ــ اليوم) قد تمكنت البحار من ضبط ظاهرة المستنبت الاخضر على الارض•

لم تكن توجد اية قارات على الارض السقرية ، وتألفت القشرة فقط من السطح الخارجي للغلاف، ولم تكن العناصر المشعة قد تركزت بعد فيالقشرة او الغلاف الاعلى مثلما هي عليه اليوم ، وانما كانت منتشرة في جميع انحاء الغلاف غير المتباينة • مع ذلك ، كانت الحرارة المتراكمة من النووتيدات (nucleotides)على مر مئات الملايين من السنين تقوم بفلق الارض الى طبقات متداخلة متراكزة، وفيما نزحت العناصر المشعة نحو الاعلى الى القشرة الخارجية ، حملت معها قدرتها على انتاج الحرارة اقرب الى السطح، وكانت الصهارة لتتركز في طبقة انتقالية تحت السطح مثلما هي اليوم بين القشرة والغلاف الخارجي•

ولابد انه في أواخر الازمنة السقرية كان تراكم الحرارة المتولدة عن الاشعاع والذوبان الجزئي للغلاف ، وانتقال الحرارة الى الاعلى فيالصهارة، قد بلغ نسبا ذروية اسفرت عن تعرض القشرة الاصلية الى تحورات فيانحاء

مختلفة من الكرة الارضية ، كما ان غوص الصخور النـارية وبروز اللابا شوه السطح وعجل بالتآكل فتكونت بذلك الصخور الرسوبية الاولى.

ربما لم يكن قد حان الوقت بعد لتكون الصخور البلورية الحقيقية ولم تقع في هذا الزمن عملية انتشار او اتساع القيعان البحرية التي تنفصل معها الالواح القشرية بفعل انبجاس الصهارة ، ولم يكن قد حصل بعد التباين الثابت الدائم للاغلفة التي كانت متجانسة مبدئيا ، انما تميز انقضاء الدهر السقري بانفراج التراكمات الحرارية في سيول عظمى من اللابا المنتفثة من البراكين على سطح الارض وتحت مياه البحار النامية . كانت تلك نهاية أول دهر طويل في تاريخ الارض، وهو الدهر الذي شهد تولد جو وبحار الارض، ودام ثمانمائة مليون سنة.

خلال الثلاثة آلاف وثمانمائة مليون سنة التي تلت كانت الصخور المتبلورة من الصهارة في ذلك المشهد البدائي تلعب دورا بالغ الاهمية في العلوم. في عام ١٩٦٦ بدأ فيك ماكجريجر (Vic McGregor) ، وهو خبير جيولوجي شاب من نيوزيلندة يعمل مع فرقة المسح الجيولوجي لغرينلند ، برسم خرائط تفصيلية للمنطقة الجبلية حول فيورد باسم امرليك (Amerlik) على الساحل قرب العاصمة غوتهاب. لم تكن هذه مهمة هينة . فان التنويعـة العظمى للصخور وترتيباتها المتشابكة جعلت عملية تفسير التاريخ الجيولوجي امرا عسيرا. لكن بعد عدة سنين بدأ ماكجريجر بتنضيد سياق متميز من الاحداث التي كانت قد تعاقبت على مر العصور . كانت الصخور التي تم تمييزها بكونها الاقدم في تلك المنطقة هي صخور نايس اميستوك (Amistoq Gneiss) ، وهي صخور نارية قد تعرضت للاستحالة الشكلية (metamorphosis) والتشوه بفعل قوى جبارة تفعل فعلها على القشرة الارضية . وبحسب تفسير ماكجريجر ينبغي أن توجد صخور كانت قد تكونت حتى قبل صخور نايس اميستوك.

انضم ستيفان مورباث (Stephan Moorbath) من اكسفورد الى ماكجريجر في صيف ١٩٧١، وبدأ الخبيران الجيولوجيان بتجميع عينات صخرية لارسالها الى انكلترة لمقايسة اعمارها بطريقة النظائر المشعة. وفي ايسوا (Isua) وهي منطقة جبلية تقع على بعد ستين ميلا شمال غرب غوتهاب مباشرة عند حافة الصفيحة الجليدية الداخلية العظمى، كانت شركة للتعدين تقوم بالتنقيب في رسوبات ضخمة من خامات الحديد ، وهي جزء من قوس عظيم من الصخور البركانية والرسوبية الشديدة الاستحالة يبلغ قطره ما بين سبعة الى خمسة عشر ميلا وبسماكة تبلغ ١ر٨ ميل. عندما وصل ماكجريجر ومورباث الى الموقع رأيا ان القوس الصخري كان فوق القشرة ، أي انه كان منبسطا على سطح ومحفوفا بصخور نايس الغرانيتية مع حافات تلامس مقصوصة ومشوهة.

تم جمع عينات وارسالها الى اكسفورد للمقايسة بالروبيديوم ـ السترونشيوم (rubidium-strontium) والاورانيوم ـ الرصاص (uranium-lead) لتحديد اعمارها ، وعندما ظهرت النتائج في النهاية وجد ان عمر الصخور كان يبلغ (٣٧٦٠) ثلاثة آلاف وسبعمائة وستين مليون سنة ، وعلم ماكجريجر ومورباث ان في ذلك المرتفع الموحش المقفر من الارض في الدائرة القطبية الشمالية قرب الصفيحة الجليدية العظمى حيث الصخور مكشوفة عارية بأجمعها، انهما كانا يمشيان على جزء مما ربما كان القشرة القارية الاصلية للارض[٣].

طوال فترة الدهر السقري كانت الحرارة ترشح الى السطح الموادالمتطايرة الملتصقة بالصخور ، ومعها تكون نطاق بحري ونطاق جوي بدائيان ، وبحلول زمن تكون تشكيلة ايسوا الحديدية قبل ثلاثة آلاف وسبعمائة وستين مليون سنة ، كان قد تكون على السطح ما يكفي من الماء لحصول

الامطار والتآكل والترسبات . وبانقضاء الدهر السقري دخلت الارض في الدهر الاركي.

لابد ان الردح الاول من الدهر الاركي او العتيق كان فترة التئام وترسخ عقب الانفجارات والاندلاعات البركانية العظمى التي اختتمت الدهرالسقري. كان التآكل يحت ويفتت الجبال البركانية على مر مئات الملايين من السنين ويودع طبقات سميكة من الرواسب على هوامشهـا . وفيما كان السطح يتعرض للتعرية استمرت حرارة التحلل الاشعاعي في جوف الارض بالتراكم على نطاق واسع في جميع انحاء العالم طوال الحقبة التالية.

ثم في حوالي ما قبل ثلاثة آلاف مليون سنة حين كانت المحيطات تكسو سطح الارض بطبقة رقيقة ، تعرضـت الارض لحقبـة أخرى من التكون القشري. اذ بعدما انفجر الاتون الجوفي تفطرت القشرة الى شقوق وشدوخ عظيمة وأدت الصهـارة الذائبة الى تقوض الاقسام المتلاصقـة من القشرة وانفكاكها عن الغلاف العلوي وانزلاقها على طبقة من الصخور الذائبة في الفاصل البيني. لم تكن هـذه التحركات كبيرة ، انما مجرد بقدر سنتمتر واحد او حواليه بالسنـة، لكنها كانت، على مر الملايين من السنين، كافيـة لترغم سطح الارض ليفقد هذه الزيادة في قشرته ويحيلها بطريقة ما الى اماكن أخرى . فقد انشطرت القشرة في اماكن أخرى للتنفيس عن الضغط المتزايد وبدأ الجزء تحت الضغط ينزلق فوق الجزء المجاور ويدفع معه حافة الفلج في باطن الغلاف تحته.

وفيما غاص السطح المزاح أعمق في الغلاف أخذ يذوب بفعل الحرارة الجوفية الشديدة فتصاعدت الصخور الاخف الغنية بالسيليكا الى أعلى بينما هبطت الصخور الحديد ومغنيسية (ferromagnesian) الى الاسفل. وحيث انزلقت احدى حافات السطح تحت الأخرى نتج عن ذلك خندق عميق برزت

بالتوازي معه المواد السطحية المزاحة وارتفعت الى السطح بشكل صهارة مكونة قوسا من الجزر البركانية • ولابد ان هذه الاقواس الجزائرية ظهرت في عدد من الاماكن على وجه الارض•

ان الصهارة المندلعة في شقوق واخاديد قشرة الارض والتي صبت كميات هائلة من اللابا أصبحت فيما بعد الصخور القاعية للدروع القارية ، ورغم ان هذه الصخور الاساسية تبلغ من العمر ثلاثة آلاف مليون سنة ، وهي مطوية ومستحالة الشكل، فانه يمكن مشاهدتها كتعاقبات طويلة من اللابا الوسادية يبلغ سمكها اميالا عديدة وتكونت بالتبرد السريع بفعل انبثاقها تحت الماء• وتوجد أدلة على ان هذه الاحزمة المعروفة بأحزمةالحجارة الخضراء بسبب مسحتها اللونية الخضراء من الكلوريت (chlorite) والهوربلند (hornblende) والايبدوت (epidote) ربما كانت مناطق قشرية انخسفت الى الاسفل بعمق ستة الى تسعة اميال بينما كانت الصخور والترسبات البركانية تتراكم طبقة فوق طبقة على مر زمن مديد•

لا يوجد مثيل معاصر للصخور في أحزمة الحجارة الخضراء بين المناطق البركانية النشطة المعاصرة رغم انها تبدي بعض الشبه بأقواس جزائرية حالية مثل جزر الكوريل في شمل اليابان وجزر ألوشان الجنوبية الغربية• في الاغلب تتألف الصخور المحيطة باحزمة الحجارة الخضراء من صخور الغرانيت ، والعديد من المناطق الاركية يتألف من تعاقبات بركانية قائمة الغور شديدة الانطواء محصورة بين كتل غرانيتية • لا يزال توزيع الماء واليابسة في الدهر الاركي غير معروف جيدا، انما الترسبات والصخور البركانية كانت تتراكم تحت الماء•

لذلك ربما كانت الاقواس الجزائرية كما تبدو عليه اليوم، مرحلة

وسيطة تطورية مهمة بين القشرة البحرية والقشرة القارية • وفيما ان القشرة البحرية بازلتية وتمثل سطح الغلاف فان القشرة القارية غرانيتية في معظمها واكثر سماكة انما أقل كثافة ، أما الاقواس الجزائرية فهي من مواد قشرية اكثر سماكة من القشرة البحرية ولكن ليس بسماكة القشرة القارية وتتألف من صخور مشتركة في القشرتين •

حصلت مرحلة أخرى للتطور القشري في حوالي اواخر الدهر الاركي• ففيما انزلقت قشرات بحرية تحت الالواح الفوقية المتراكبة ، ارتفعت الصخور الذائبة المزاحة بفعل طفوها وانتقلت الى اماكن ملائمة لها على هوامش الاقواس البركانية ، واحيانا كانت الصهارة تبرز فوق القشرة وتصب عليها تعاقبات كثيفة من الصخور البركانية ، لكنها في الاغلب كانت تبقى غائرة حتى المرحلة الاخيرة من نشوء الجبال • استمرت نشأة الجبال على مدى مئات الملايين من السنين، ثم عندما ضعف الضغط الحاصر فوق الكتلة الغائرة دفعها طفوها الى الاعلى كالفلينة من خلال القشرة في المرحلة الاخيرة الباهرة من نشأة الجبال•



الشكل ١/٢ ـ نمو امريكا الشمالية . تشير الارقام الى اعمار صخور الرصيف القاري بآلاف الملايين من السنين.

وبهذه الطريقة نمت القارات خطوة فخطوة من نواتها الغرانيتية ، بتراكم المواد الاخف المفلوقة من الغلاف على هوامشها، وعلى ما يظهر تمت كل عملية نشأة الجبال في غضون ستة أو سبعة أحقاب على مدى تاريخ الارض ، امد كل حقبة منها حوالي ثمانمائة (٨٠٠) مليون سنة.

أدى اندفاع الجبال على هوامش أحزمة الحجارة الخضراء الى تشوه الصخور واستحالتها بشدة، وخلق انخساف الاحزمة سهولا منخفضة تعرف باسم الدروع القـارية (continental shild) وهـذه هي المجنات (cratous) او النويات (nuclei) التي نمت منها القارات عبر الاحقاب المتعـاقبة لنشأة الجبال . والدرع الكندي اكبر هذه الملامح ويجثم كصحن عملاق يحمل في وسطه خليج هدسون . اما الجبال فقد زالت الآن ، بعدما تفتت واندثرت حتى الجذور منذ زمن بعيد ، لكن المنطقـة لا تزال باقية بمثابة مستودع فسيح للقرارات الفلزية (mineral deposits)

ان أحزمة الحجارة الخضراء المؤرخة بين ما قبل ثلاثة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة الى ألفين وخمسمائة (٢٥٠٠) مليون سنة هي أقدم احزمة الصخور المستحالة والمشوهة . ومنذ ما قبل حوالي الفين وسبعمائة (٢٧٠٠) مليون سنة فصاعدا أخذت أحواض رسوبية فردية تتكون من تحات الجبال العتيقة ، وربما ان المجنات التي كانت القارات تنمو عليها كانت تؤلف نسبة خمسة الى عشرة بالمائة (٥ــ١٠٪) من المساحة القارية الحالية قبل ثلاثة آلاف وثمانمائة (٣٨٠٠) مليون سنة ، لكن مساحتها أخذت تنمو ما بين الفترة ما قبل الفين وتسعمائة (٢٩٠٠) مليون سنة والفين وخمسمائة (٢٥٠٠)مليون سنة خلت الى ان بلغت نسبة خمسين الى ستين بالمـائة (٥٠ــ٦٠٪) من المساحة الحالية. كانت قشرة الارض قد توطدت واستقرت بما يكفي قبل الفين وسبعمائة (٢٧٠٠) مليون سنة ليتيح للرسوبات لتتراكم في أحواض

كبرى دون أن تتغير الضغوط اللاحقة.

كان الجو لا يزال من دون أوكسجين اثناء فترة الدهر الاركي، ولكنه تضمن النيتروجين وربما كان محتواه من ثاني أوكسيد الكربون ما بين أربعة الى عشرة (٤ــ١٠) أضعاف كميته اليوم وحافظ على الجو السفلي مرتفع الحرارة للغاية. وبحسب الخبيرين الجيولوجيين بول كنوث (L. Paul Knauth) وصموئيل ابستاين (Samuel Epstein) [٤] في الدراسات التي أجرياها في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا باستعمال التحليل النظائري لست وستين (٦٦) عينة من الصوان (chert) مأخوذة من اواسط وغرب الولايات المتحدة، كان معدل درجة حرارة جو الارض قبل ثلاثة آلاف مليون سنة ربما لا يقل عن (٧٠°) مئوية . وهذه النتائج مبنية على قياس الوفرة النسبية لنظائر الاوكسجين والهيدروجين في ماء اماهة الخلائط الصوانية من عصور جيولوجية ماضية مختلفة . وتشير البيانات الى ان درجات الحرارة المناخية، مع بعض التقلبات ، كانت لا تزال عموما في الهبوط منذ ذلك الزمن.

دام الدهر الاركي الى ما قبل الفين وخمسمائة (٢٥٠٠) مليون سنة ، وعند انتهائه كانت القشرة مستقرة بما يكفي لتستوعب مصاطب أو ارصفة ثقيلة من الرواسب وصلبة بما يكفي لتحمل اقتحامات الصهارة، ومنذئذفصاعدا يصبح العمود الجيولوجي خصائصيا من الرواسب الثوابتية (cratonal) مستودعة في هوامش قارية مغمورة.

وبانتهاء الدهر الاركي حل الدهر البروتيروزوئي، وهو زمن طلائع الاحياء وامتد ما يقرب من الفي (٢٠٠٠) مليون سنة منتهيا عند زمن يقع ما قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة ، ومن هنا يبدأ الحقب الكمبري (cambrian) ، والاحافير (fossils)

الفصل الثالث
الحياة في الازمنة السابقة لما قبل الحقبة الكمبريـــة

منذ أوائل القرن الماضي والخبراء الجيولوجيون دائبون بهمة متواصلة على وضع تاريخ للطبقات الجيولوجيـــة الارضية بحسب تعاقبهـــا الزمني الصحيح، وفيما اتسعت علومهم اكتشفوا ان مجموعات فريدة من الحيوان تنتمي الى فترات معينة من الزمن دون سواها ، وبمكاملة الصخور الرسوبية في جميع انحاء العالم وترتيبها وفق سياقها النظامي مبنيا على التعاقب الحيواني تمكنوا من انشاء عمود من الاحافير عبر التتابع الزمني للتكوين الجيولوجي للارض.

كان الجيولوجي الانكليزي آدم سيجويك(Adam Ŝedgwic) اول من أستعمل الاسم پاليوزوئي paleozoic : او الاحاتّي الخاص بأحافير احيـــاء الدهور العتيقة) في محاضرة له القاها في عام ١٨٣٨ للدلالة على الدهر في التاريخ الجيولوجي الذي ابتدأت الحيـــاة بالتمخض فيه اعتبـــارا من أول الاحافير بما فيها من النباتات البرية والحيوانات البرمائية وأقدم الزواحف، وسرعان ما تبع ذلك ورود عبارة الميسوزوئي أو الدهر الاحيـــائي الوسيط (mesozoic) الذي شمل حيوانات الدينوصور والزواحف البحرية والطيارة، وتلته عبارة السينوزوئي(Cenozoic) كناية عن الدهر الحديث، من ثم جرى تقسيم الدهور الباليوزوئي والميسوزوئي والسينوزوئي الى أحقاب جزئيـــة وأطلق اسم الحقبة الكمبرية (Cambriao Period) لتبتديء مع اول ظهـــور الاحـــافير قبل خمسمـــائة وسبعين مليـــون سنـــة من عصرنـــا الحاضر ، وأتبع بأحقاب جيولوجية تعاقبية يتسم كل منها بالاحافير الموجودة فيه.

رغم ان السجل الاحفوري متشظ في بعض الاحوال فانـه يوافينـا بشهادة واضحة على مبدأ النشوء التطوري، وفي العديد من الخطوط السلالية يمكن رسم التعاقب التسلسلي بتفاصيل في غاية الدقة . ان الاحافير الاكثر عتاقة من الحقبة الكمبرية تشتمل فقط على اللافقريـات، ثم تظهر في وقت لاحق فقريات شبيهة الى حدما بالاسماك تلتئم تدريجيا بالتعاقب لتصبح اسماكا حقيقية، يلي ذلك أحافير الحيوانات البرمائية والـزواحف وأخيرا الاطيـار والثدييات. من الواضح ان التتابع الزمني يرتبط بعلاقة متبادلة بأبسط اشكال الحيوانات التي تظهر في أقدم الطبقات الجيولوجية ويتصاعد في تعقيد متزايد الى وقت متأخر من التاريخ الجيولوجي.

واذ ندرس الآثار الاحفورية نجد أن طائفة حيوانات أو احياء الحقبـة الكمبرية تتضمن نماذج من كل شعبة لا فقرية هامة لكن المجموعتين الاكثر غزارة والاوسع انتشارا هما الثلاثيات الفصوص (trilobites) والعضديات الارجل (brachiopods)، تقريبا خمســة وسبعون بالمـائة (٧٥٪) من جميع الاحافير المكتشفة في الحقب الكمبري تتألف من الثلاثيات الفصوص. وقد تباينت هذه المفصليات (arthropods) التي تنتسب عن بعد الى السرطان الحدوي الحديث (horseshoe crab) في الحجم من قدر ربع بوصة (¼ انج) الى مـا يناهز قدمين اثنتين وكانت تقتات على المتعضيات المجهرية في البحار وعلى الركام القاعي، غير اننا هنا نصل الى حلقة مفقودة ، اذ لا توجد اية آثار لأية أحافير فقرية أو أية نباتات او حيوانات في البر او في المياه العذبة طوال فترة السبعين (٧٠) مليون سنة التالية من الحقبة الكمبرية، أي ما قبل ٥٧٠ الى ٥٠٠ مليون سنة مضت.

لقد شكل الظهور المفاجيء لطـائفة حيوان الحقبـة الكمبرية مسألة بيولوجية كبرى. فالمتعضيات المكتشفة في هذه الحقب تؤلف أشكالا حياتية

ذات أعضاء وخواص معقدة ومتطورة كتلك التي لدى بعض ما نجده في يومنا هذا. فضلا عن ذلك، ولزيادة المسألة غموضا ، نجد أن جميع الشعب (أي التقسيمات المبنية على ملامح تشريحية اساسية) المعروفة اليوم موجودة في الاحافير الكمبرية. وذلك جميعها ما عدا شعبة واحدة هي الحبليات (chordata) التي تؤلف شعبة الفقريات، والتي لم تظهر الا قبل حوالي اربعمائة وخمسين (٤٥٠) مليون سنة خلت. ان الشعب التي كانت موجودة ظهرت بسرعة دون أي اصل ظاهر . وبالاضافة ، لقد تضمنت اعتق المراقد الكمبرية ذات البقايا الهيكلية عديدا من مجموعات الثلاثية الفصوص والعضدية الارجل والرخويات Mollusks والشوكيات (Echinoderms) ونماذج من شعب أخرى بلغت في مجموعها نحو عشرين (٢٠) نوعا متميزا ، لكن لم تكن توجد اية دلالة على انتمائها سلاليا الى أصل مشترك ، وبقي امر منشأ نباتات وحيوانات الحقب الكمبرية سرا دفينا.

ثم في عام ١٩٤٧ فيما كان ريجنالد سبريغ (Reginald Sprigg) ، وهو جيولوجي أوسترالي، ينقب في تلال ايدياكارا ، وهي منطقة مناجم مهجورة تبعد عن مدينة اديليد بمسافة ٣٨٠ ميلا شمالا، اكتشف بقايا أحفورية غزيرة بالسمك الهلامي (Jellyfish) في الطبقات العليا من الكوارتزيت (quartzites). للوهلة الاولى اعتقد سبريغ انها تعود الى الحقبة الكمبرية السفلية، الا أن مزيدا من التفحص اثبت انها تعود الى زمن متأخر من الدهر البروتيروزوئي. جرى تجميع ما يقرب من ١٥٠٠ عينة أحفورية من تلك الطبقات الارضية ، تألف ثلثاها من مخططات تنم عن خصائص الجرس السباح لرئة البحر اللاحشائية (swimming of the coelentrate medus) ، وما يقرب من ربعها من ديدان حلقية (annelid worms) ، والباقي من متعضيات لا فقرية منقرضة[1].

كانت تركيبة الطائفة من قبيل البيئة البحرية ، وبينت الدراسات للرواسب

الحاوية لها استيداعها في مياه ضحلة، اذ ربما ان المخلوقـات شبه الدودية عاشت في مياه ضحلة حيث كانت تنخرب في الطين او تقتات على السطح، بينما لا يستبعد أن تكون رئة البحر اللاحشوية قد ضلت الى هناك من عرض البحار، ولم تظهر بينها أية علامات للافتراس كمثل تمزيق ابدان كبيرة.

وقد جرى اكتشاف بعض افراد طـائفة ايدياكارا في أماكن أخرى، فقد اكتشف تريفور فورد (Trevor Ford) الشارنيا (Charnia) في انكلترة في صخور بروتيروزوئية وبعمر يبلغ ستمائة وثمانين (٦٨٠) مليون سنة، كمـا تم اكتشاف أحفورة شديدة الشبه بالشارنيا في مرتفعات اولنك (Olenck) في شمال سيبريا في صخور أرخت في ما قبل ستمائة وخمسة وسبعين (٦٧٥) مليون سنة مضت.

كانت أحافير العديد من حيوانات الحقبة الكمبريـة لا فقريـة ذوات هياكل متفلزة (mineralised) . لكن هذه المتعضيات لم تظهر مطلقا في أحافير ايدياكارا التي افرزت بصمات لحيوانات لينة الابـدان أو مسالك وآثـار للافقريات العديمة الاجزاء الصلبة . وعلى ما يبدو كان هناك فترة زمنية امتدت ربما مائة (١٠٠) مليون سنة ازدهرت خلالها حيوانات لينة الابدان في البحار ، وبقدر ما هو موجـود اليوم، قبل النشوء التطـوري للاصداف والهياكل المتفلزة.

ان أهمية طائفة ايدياكارا تكمن في أن الحيوانات تنتمي الى مستوى ابسط في التطور من مستوى الشعب المكتشفة في الحقبة الكمبرية، وهذه الحيوانات لا حشوية وتمثلها اليوم الاسمـاك الهلامية وشقـائق البحـر (anemones) والمرجان (corals) واللاحشويات هي حيوانـات متعددة الخلايا في المستوى النسيجي من البناء، وهذا يعني في العموم انها عديمة الاعضاء.

والحيوانات متعددة الخلايا الوحيدة التي هي ابسط شكلا من اللاحشويات هي الاسفنجات (sponges) ، وهي حيوانات بدائية ينقصها الانتظام النسيجي الواضح وتبدي علاقات مماثلة مع بعض اصناف مستوطنات الاوليات الاحادية او المتماثلة الخلايا (protozoa) ، وكلاهما تنقصه الاطراف التكاملية والفم والاجهزة الهضمية ، وكلاهما يملك صنفا من التكوين الهيكلي الذي ينتج عناصر فردية أما بواسطة خلية مفردة أو مجموعة خلايا متماثلة • والاسفنجات ليست جيدة الحفظ كأحافير، ألا انه قد تم العثور على عينات منها تعود الى الحقبة الكمبرية•

لقد أرجعت قياسات الطبقات حاملة الاحافير عمر الحياة الى ما قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة ، أي الى بداية الحقبة الكمبرية ومددت أحافير ايدياكارا هذا العمر الى ما قبل ستمائة وثمانين (٦٨٠) مليون سنة خلت• غير ان الطبقات الارضية ليست كلها واقعة في تعاقب وحيد متصل في أي مكان من الارض، ولو جرى تكديس كل الطبقات العليا لجميع العصور اعتبارا من أعتق الاحافير تكديسا رأسيا فان ارتفاع العمود سيبلغ ما يقرب من اربعمائة الف قدم أو ستة وسبعين (٧٦) ميلا!

مع ذلك، فقد كان واضحا ان الآثار الاحفورية انتقصت بشكل خطير من عمر الارض• فتحت الكمبرية تقع التشكيلات ما قبل الكمبرية ، وهذه تتألف من طبقات من الصخور البركانية والرسوبية ذوات سماكة هائلة، تضم فترة زمنية تربو على ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون سنة، أي خمسة (٥) اضعاف الزمن منذ أعتق الاحافير • فما الذي حصل اثناء تلك الفترة الزمنية الرهيبة المديدة الى حد اللامعقول والممثلة لما يقرب من خمسة وثمانين بالمائة (٨٥٪) من تاريخ الارض قبل ان تبدأ الشعب الكمبرية باستيطان الارض؟

ان السماكة الهائلة للطبقات الكمبرية تشهد على مضي الملايين اثر

الملايين من السنين وجدت الحياة أثناءها فقط على مستوى الاسفنج والسمك الهلامي والثلاثية الفصوص • توجد في جبال اينيو بكاليفورنيا طبقات تمتد الى عمق أربعة عشر ألف (١٤٠٠٠) قدم او ثلاثة (٣) اميال تتضمن ثلاثيات الفصوص والاركيوسياثيدات (archaeocyathids) وهذه هي صنف من الاسفنج الطباشيري المنقرض • مع ذلك، هذا العمق لا يمتد الى الحد حيث ظهرت الحياة أول ما ظهرت • كما توجد أدلة ملموسة على وجود المتعضيات الحية على الارض بزمن طويل جدا قبل حلول الحقبة الكمبرية•

ان اكتشاف أحافير ايدياكارا وغيرها التي عثر عليها تحت طبقات الحقب الكمبري الذي بدأ قبل خمسمائة وسبعين مليون سنة مضت ادى الى اقتصار تعريف الصخور الكمبرية في الطبقات الحاوية أحافير نقر بأنها تتضمن خصائص كمبرية • وفيما أجري مزيد من المسوحات الجيولوجية ، أصبح واضحا ان الاحافير الكمبرية انبثقت من آثار امتدت الى أعماق احقاب سابقة• فقد اكتشفت في المغرب طبقات تحمل الاسفنج الطباشيري تمتد الى عمق ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) قدم تقع تحت أعمق الطبقات الكمبرية ، وهذه بدورها ترتكز على صخور جيرية (limestone) تبلغ سماكتها عشرة آلاف (١٠٠٠٠) قدم وتتضمن البقايا العتيقة من بسكويت الماء (water biscuits) وهي كتل طباشيرية تحوي حصرانا وعناقيد من آثار أحفورية ذوات الرقائق المتداخلة مركزيا والتي نمت في مياه ضحلة •

والاحافير الاكثر انتشارا وغزارة في ما قبل الحقبة الكمبرية هي البنى الملفوفية الشكل (cabbage-shaped) أو الطبقية التورق او التفرع المسماة بالستروماتولايت (stromatolites) ، وتتكون في العموم من الحجر الجيري أو من الدولوميت (dolomite= كربونات الكلسيوم والمغنيسيوم البلورية)، الا انها في بعض الاحوال تتألف من مادة ظرانية او سيليكونية (siliceous)

ربما تكونت الستروماتولات في بيئة ما بين مدية (intertidal) بنفس الطريقة التي تتكون بها اليوم بفعل السيانوبكتيريا (cyanobacteria) أو الطحالب الخضر زرقاوية (algae) • ان العديد من هذه الاحافير نصف الكروية صغير بحجم زر الثوب، لكن هناك أخرى تبلغ مساحتها آلاف الاقدام ، والقبب الستروماتولايتية العملاقة في سلسلة الحزام بالقرب من منطقة هلينا بولاية مونتانا في الولايات المتحدة تبلغ حتى خمسة عشر (١٥) قدما في سماكتها وتمتد الى مساحة آلاف الاقدام[٢]•

رغم ان الستروماتولايت تكونت بأغزر وفرتها اثناء الدهر البروتيروزوئي الطويل فان ظهورها الى الوجود يرجع في الحقيقة الى الدهر الاركي، حيث العثور عليها في تشكيلة بونغولا الافريقية (Pongola Formation) المؤرخة في في حوالي ما قبل ثلاثة آلاف مليون سنة، وهذه مثل أغلب الستروماتولايت الاحفورية، لا تتضمن اية تفاصيل خلوية ، مع ذلك، فهي تشبه بنى الصنف الذي يتكون في يومنا هذا في جزر البهاما وفي خليج شارك بغرب اوستراليا[٣]، وقد تم الحصول على تفاصيل خلوية مجهرية من ستروماتولايت جيدة الحفظ، مع العلم انه لا توجد طرائق لا عضوية معروفة من شأنها تشكيل مثل هذه البنى•

وليست الستروماتولايت الدليل الوحيد على حتمية امتداد سلالة السيانوبكتيريا الى أصل سحيق للغاية في القدم، فان الاوكسجين بذاته دليل آخر على ذاك، ان احتواء جو الارض على الاوكسجين بنسبة واحد وعشرين بالمائة (٢١٪) يشكل شذوذا في كون يتألف بنسبة خمسة وسبعين بالمائة (٧٥٪) من الهيدروجين • لقد خلقت عملية التمثيل الضوئي المحررة للاوكسجين جوا مؤكسدا رفع جميع الحياة الى وضع غير مستقر ديناميحراريا (Thermo-dynamically).

ان تأكسد المركبات العضوية تفاعل تلقائي• ومعنى هذا هو ان جميع المدة البيولوجية ـ من دون اعداد متواصل من الطاقة ـ ستؤول في النهـايةالى الحالة المتأكسدة لثاني أوكسيد الكربون والماء • وتستـديم هذه الحـالة اللامستقرة بفعل امتصاص الطاقة من ضوء الشمس لاختزال ثـاني أوكسيد الكربون وتحـرير الاوكسجيـن الذي تقـوم طحـالب العوالق البحريـة (planktonic algae) بتوليد نسبة تسعين بالمائة (٩٠٪) منه• وتدلالتقديرات على انه لو توقفت عملية التمثيل الضـوئي اليوم فان جميع الاوكسجـين الموجود في الجو سيتلاشى في بحر مجرد الفي (٢٠٠٠) سنة بفعل امتصاصه في الصخور غير المشبعة بالنسبة الى الاوكسجين[٤]•

بالرغم من فقدان الارض لهيدروجينها الجوي البدائي فان الجو الذي تكون من انبثاق الغازات الباطنية كان ايضا منقوصا وخاليا من الاوكسجين الطليق بالمرة ، ولابد ان المتعضيات المستمثلة للضوء استغرقت زمنا طويلا جدا لاكسدة مكونات نطاقي الجـو البحري والعلوي قبل امكان تـراكم الاوكسجين الجوي الطليق• انما توجد ادلة جيولوجية على أن الاوكسجين الطليق بدأ يتراكم في الجو منذ ما قبل الفي (٢٠٠٠) مليون سنـة مضت • خلال الفترة الواقعة بين ما قبل الفين وثلاثمائة (٢٣٠٠) مليون سنـة والفي (٢٠٠٠) مليون سنة مضت حصلت آخر واقعة ظاهرة للتواجد الغزير لفلزي البيريت (pyrite) والاورانيت (Uranite) [٥] الحتاتيين السهلي التأكسد ، ولو تضمن الجو آنذاك مستويات ملموسة من الاوكسجين لكان هذان الفلزان اللذان تفتتا من الصخور وتطايرا مسافات شاسعة قد تأكسدا قبل استقرارهما في الرواسب • وحقيقة عدم وجودهما في رواسب لاحقة كقرارات (deposits) حتاتية بغزارة توحي بأن الاوكسجين الجوي كان قد ابتدأ يتراكم في هذا الزمن•

وبين ما قبل الفين ومائتي (٢٢٠٠) مليون سنة والف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت حصلت آخر مرحلة لترسب التشكيلات الحديدية المخططة (banded iron formation) وأعظمها حجما على الاطلاق[٦]. لقد ساعدت الاحوال الاختزالية السائدة في الدهر الاركي وأوائل الدهر البروتيروزوئي على تكون الفلزات المحتوية للحديد الثنائي التكافؤ (ferrous iron) من تغير الصخور البازلتية . والفلزات المميزة الموجودة في التشكيلات الحديدية هي السيدريت (siderite) وهو كربونات الحديد (iron carbonate)، والغرينااليت (greenalite) وهو سيليكات الحديد (iron silicate) ، والبيريت وهو كبريتيد الحديد (iron sulfide) ، ممتزجة بحجر الصوان الخام (chert) وهذا بالاصل هو الظر أو السيليكا اللاشكلي (amorphous) . لكن كثيرا ان لم يكن الاغلب من تشكيلات الحديد كانت احيائية التكون . ان أملاح الحديد الثنائية التكافؤ قابلة للذوبان نسبيا ، بينما الحديد المؤكسد غير قابل للذوبان . وقد أدى تحرير الاوكسجين من قبل المتعضيات المستمثلة للضوء الى تأكسدالحديد الثنائي التكافؤ وأسفر عن قرارات من الحديد المترسب او المتساقط (precipitated) وأصبحت هذه تشكيلات حديدية مخططة ، وهي صخور فريدة تتألف من طبقات متناوبة من السيليكا الغني بالحديد والسيليكا الغث الحديد تمثل بالتعاقب رواسب متساقطة مخططة.

ليس من المؤكد فيما اذا كانت مناطق الحديد الصواني في تشكيلة ايسوا الواقعة في غرينلند[٧] البالغة من العمر ثلاثة آلاف وسبعمائة وستين (٣٧٦٠) مليون سنة او مجموعة الانفرواخت الافريقية البالغة من العمر ثلاثة آلاف وأربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة قد نتجت عن نشاط بيولوجي، فان الحقبة الرئيسة الاخيرة لتشكيل الحديد المخطط كانت خلال الفترة من ما قبل الفي (٢٠٠٠) مليون سنة الى الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت، وجرت اضافة الاوكسجين الى الجو بعد ذلك عندما كان الكثير أو أغلب الحديد قد

تأكسد • أما القرارات الحديدية التي تكونت في ازمنة جيولوجية اكثر حداثة فهي مراقد حمراء حيث الحبيبات الفردية مطلية بأوكسيد الحديد الثلاثي المكافئ (ferric oxide) •

وهكذا يمكن اقتفاء أثر باليوكيمياء (paleochemistry) الاوكسجين الى الدهر ما قبل الكمبري في طبقات جيولوجية حمراء وحجارة جيرية• والى ذلك العهد تعود ايضا التفحمات المتضمنة لمراقد الكربون الصافي تقريبا التي اكتشفت في ميشيغان وفي فنلندة ، انه من الصعب تفسير هذه ما عدا القول بأنها في الظاهر كانت قد تكونت بفعل حياة مستمثلة للضوء جيدة التنظيم ، وبالرغم من براعة بعض الادلة على أشكال الحياة الاولية ، فانه من الواضح ان هذه هي منتوجات الحياة التي قامت ما قبل الحقبة الكمبرية وليست أحافير لمتعضيات فعلية•

غير انه في اوائل الخمسينات من هذا القرن كان ستانلي تايلر (Stanley Tyler) وهو من قسم الجيولوجيا بجامعة ويسكونسن ينقب عن الحديد على سواحل ميشيغان لبحيرة سوبريور عندما عثر على مكامن فحمية عتيقة تضمنت ما بدا له انها نباتات مجهرية • فقام بعرض عينات من هذا الفحم على ويليام شروك (William Shrock) رئيس قسم الجيولوجيا في معهد ماشوسيتس قنينة من الهلام تترك مفتوحة لفترة أطول مما ينبغي واقترح على تايلر ان للتكنولوجيا فظن شروك ان النباتات تبدو شبيهة بالفطر الذي يتكون على
قنينة من الهلام تترك مفتوحة لمدة أطول مما ينبغي واقترح على تايلر ان يعرضها
على الخبير النباتي ايلسو بارغورن (Elso Barghoorn) من جامعة هارفارد•

كانت نتيجة هذه الاستشارات أن انضم تايلر وبارغورن معا في رحلة ميدانية الى الموقع لاجراء دراسة أكثر دقة ، وأدى البحث عما كان قد غضن لفقة الفحم الى عبور الاثنين الى الجانب الكندي حيث وجدا سجّيلا أسود

(black shale)وحجارة صوانية (chert)يعرفان باسم تشكيلة الصوان الوري (Gunflint Formation) ، وهي طبقة من الصخور ما قبل الكمبرية تقع على الساحل الشمالي لبحيرة سوبيريور قرب مدينة شريبر بمقاطعة اونتاريو مباشرة الى الشرق من خليج الرعده وهذا الحجر الصواني الوري مغطى بالسجيل ويعتبر في العموم ميدل هيورين أوف كنديان شيثلير نسبة الى بحيرة هيورون الواقعة في هذه المنطقة او قبيلة هيورون الهندية التي كانت تقطن هذه المنطقة).

أخذت عينات من الحجر الصواني وجرى قصها بمنشار ماسي الى شرائح رقيقة لدرجة انه بإمكان الضوء أن يتخللها . قام تايلر وبارغورن بقص اكثر من ثمانمائة (٨٠٠) شريحة رقيقة لاجراء الدراسات عليها ، وجرى استعمال حامض الهيدروفلوريك (Hydrofloric acid) لاذابة حجر الصوان المكتمن وتحرير شظايا من النباتات البدائية والفضالة العضوية من البوغات (spores) والشعيرات ، وتم فرز خمسة اشكال مورفولوجية متميزة من احياء المنطقة الحيوانية والنباتية (morphorlogical forms of biota)، منها اثنان طحلبيةواثنان فطرية (fungal)وواحد بدا انه سوطي طباشيري (calcareous flagellate) بدت هذه النباتات الدقيقة البسيطة جدا بأنها نماذج من السيانوبكتيريا واشكال بسيطة من الفطر . أرخت تشكيلة الصوان الدري هذه في ما قبل الف وتسعمائة (١٩٠٠) مليون سنة الى الفي (٢٠٠٠) مليون سنة مضت، مما جعل هذه الاحافير في ذلك الزمن من اقدم المتعضيات المحفوظة بنيويا[٨].

وفي بحث لاحق في عام ١٩٦٥ أعلن بارغورن وتايلر[٩] عن اكتشاف صفيفة (array) من الاحافير المجهرية لنماذج أخرى من تشكيلة الصوان الدري، وعرضا فيها اثنتي عشرة تجميعة من الاحافير المجهرية الشعيرية والكريوية الاحادية الخلية ، وبدت الكريوية من شكليتها الموفولوجية بأنها

تنتمي الى الطحالب الخضر زرقاوية القملية (coccoid blue-green algae) ،بينما انتمت الاحافير الشعيرية او الخيطية (filamentous) الى بكتيريا الحديدالمسماة بالسفيروتيلاس (sphaerotilus) والسيدروكوكاس (siderococcus) • كانت هذه كلها عينات ممتازة محفوظة بتفلز البنية الخلوية في قالب سيليكوني• فهنا كانت مطمورة في حجر صواني عمره الفا (٢٠٠٠) مليون سنة بقايا المتعضيات المجهرية التي عجلت في ترسيب التشكيلات الحديد حجرية وولدت الاوكسجين الطليق الذي جعل الحياة المستقبلية في ذلك العهد ممكنة•

بعد ذلك بقليل تمكن ويليام شوبف[١٠] (William Schopf) ، وهو طالب تخرج سابقا على يدي بارغورن ويعمل حاليا في جامعة كاليفورنيا في لوس انجليس، من العثور على تجمعات مختلفة من الاحافير المجهرية النباتية بأشكال شعيرية وكريية جيدة الحفظ للغاية في تشكيلة النبع المر (Bitter Spring) في المقاطعة الشمالية من اوستراليا حصلت هذه الاحافير من الاحياء المجهرية (microbiota) في صخور صوانية كاربونية تقع في الطبقات العائدة الى الدهر ما قبل الكمبري المتأخر والكائنة في منطقة نهر روس في اوستراليا الوسطى، وقدر عمرها بحوالي الف (١٠٠٠) مليون سنة• كانت هذه الاحافير قد نشأت من الطحالب التي كانت على ما يظهر قد نمت كصفائح رقائقية او حصران في بيئة بحرية وكونت ستروماتولايت طحلبية واسعة الانتشار • ومن بين التسعة عشر (١٩) نوعا التي عثر عليها شوبف كانت اربعة عشر منها من فصائل طحلبية معاصرة• فقد كانت الطحالب الخضر زرقاوية الشعيرية منها والكريية القملية منتشرة على نطاق واسع آنذاك ولابد انها كانت ايضامتنوعة للغاية في هذا الزمن ما قبل الف مليون سنة خلت•

على ما يظهر ان هذه السبانوبكتيريا كانت مزدهرة فيما قبل الفي مليون سنة خلت ويحتمل كثيرا انها هي المسؤولة عن الستروماتولايت البولاوائية

(Bulawayan)الكائنة في زيمبابوي التي تكونت في ما قبل الفين وستمائة (٢٦٠٠) مليون سنة ، وايضا الستروماتولايت البونغولية (Pongolan) التي يمتد أصلها الى ما قبل ثلاثة آلاف ٣٠٠٠ مليون سنة خلت. ومهما تكن هـذه النباتات ضاربة في البساطة فلابد انها كان لها اسلاف تواجـدت حتى في ما قبل زمنها، متعضيات مجهرية أكثر عتاقة حتى من اقدم الطحالب الخضر زرقاوية . ومن هنا اصبح احد اهداف الدراسة الباليوتتولوجية اجراءالبحوث لدفع الآثار الاحفورية الى الوراء وتقريبها قدر المستطاع من اللحظة الاولى التي بدأت فيها الحياة على الارض.

في عام ١٩٦٥ كان بارغورن يجمع أحجارا صوانية من اماكن عديدة في اراضي جبل باربرتون(Barberton) من المنطقة الواقعة في شرقي الترانزفال بجنوب افريقيا قرب الحدود السوازيلاندية حيث تجري مياه نهر اومبليزي من خلال التلال المتموجة في طريقها الى موزامبيق والمحيط الهندي. تتألف اراضي جبل باربرتون من بضع مئات من الاميال المربعة تكونت من أحزمة الحجـارة الخضراء الاركية التي تمتد اعمارها الى ما قبل ثلاثة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت، وتتألف سلسلة سوازيلاند من هذه التشكيلة من مجموعة شجرة التين القائمة على سلسلة الانفرواخت . يكثر الكربون على نطاق واسع في هذه التشكيلة ، كما يوجد السجيل ايضا في بعض الاماكن التي كانت قد تحولت الى صخورصفائحية بركانية نقشية (graphic schists) بفعل الاستحالة الميتامورفية او الشكلية (metamorphism) ، وبعض الحجـارة الصوانيـة السوداء هنا تتضمن ما لا يقل عن نسبة عشرين بالمائة (٢٠٪) مواد عضوية.

قام بارغورن وشوبف بفحص مجموعـة شجرة التين بالمجهر الضوئي ووجدا ان المصفوفة الصخرية (rock matrix) تتضمن العـديد من الرقائق الطبقية تتألف من جسيمات قاتمة اللون معتمة تقريبا من المواد العضوية . أو

هي ارتصاف الرقائق بموازاة طبقـات الصخـر الصواني (chert) الى أن الاستيداع او الترسب (deposition) كان قد حصل في بيئة مائية • ولم يمكن رؤية أي شيء يشبه احافير المتعضيات المجهرية بالمجهر، ألا أن شوبف قـام بصقل سطح المقاطع الصخرية ثم نظر اليها من خلال مجهر الكتروني، وتمكن الآن في هذا التكبير الاعظم أن يرى ما لم تسبق رؤيته قبلا• فقد وجد بنى كالقضبان طولها ما بين (٥ر٠) الى (٧ر٠) مليميكرون وبأقطار قدرها (٢ر٠) مليميكرون • كانت هذه مشابهة للبكتيريا القضيبية الكسم ! كماوجد ايضا في وقت لاحق أحافير مجهرية كريية يبلغ قطرها (١٧) الى (٢٠) مليميكرون شبيهة بالطحالب الخضر زرقاوية من المجموعة القلمية الحديثة • وعلى الاجمال تم اكتشاف تسع وعشرين (٢٩) عينة واضحة المعالم في أحـافير الاحيـاء المجهرية ، وهي أحافير لما بدا انهـا بكتيريا عاشت على الارض قبل ثـلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون الى ثلاثة آلاف وثلثمائة (٣٣٠٠) مليون سنة مضت[١١]•

بنفس الوقت كان هانز بفلوغ[١٢] (Hans pflug) من جامعة يوستوس ليبيغ بغيسن (Justus Liebig, Giessen) بألمانيا الغربية ، يقوم بفحص أحجار صوانية وسجيل من رواسب شجرة التين بحثا عن بقايا عضوية بنيوية ، وبالفعل وجد تجمعات لبقايا متعضيات في العينات المأخوذة من المنطقة الواقعة على مقربة من منجم ذهب سبأ بجوار باربرتون • وكشفت الدراسـات الكيميائيـة والنظرية للمواد العضوية ان هذه البنى تتضمن جدرانا خلوية ممـا حدى ببفلوغ الى اقتراح تشابه لها بالسيانوبكتيريا الاوكالية (ocalean)، وحددت المقايسة الاشعاعية عمرها بثلاثة آلاف ومائتي ٣٢٠٠ مليون سنة•

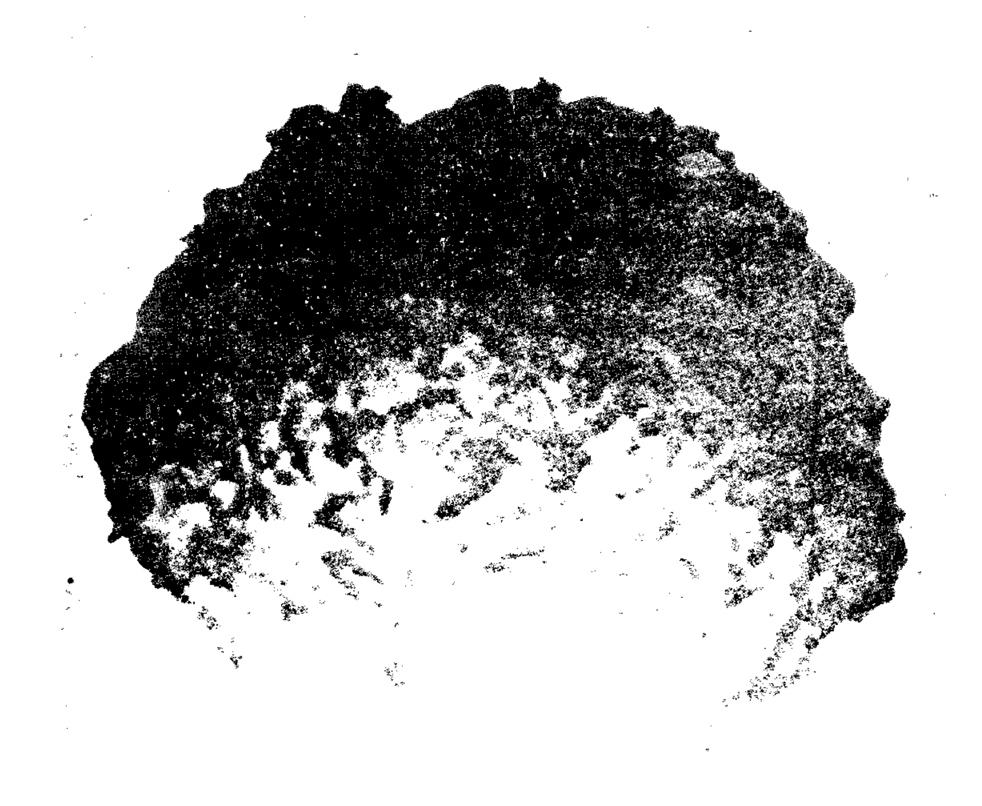
لابد من اعتبار هذه الاحافير المجهرية من مجموعة شجرة التين تقريبا يقينا من أصل بيولوجي ويغلب الاحتمال بأنها بقايا متعضيات مجهرية شبيهـة بالطحالب أحادية الخلايا• فالتركيبة العضوية والشكلية الثابتة ومحدوديـة

مدى تباين الاحجام، والمظهر المتشابه بالاحافير المجهرية الجيدة الحفظ من أحجار الصوان الوري والطحالب الخضر زرقاويـة من تشكيلة النبع المر ، كلها أدلة قوية على شكل حياتي شبه طحالبي لا استيطاني احادي الخليـة تواجد على الارض قبل أكثر من ثلاثة آلاف مليون سنة.

وفي عمق قدره تقريبا خمسة وثلاثين الف (٣٥٠٠٠) قدم تحت مجموعة شجرة التين تقع سلسلة الانفرواخت على مساحة قدرها اربعمائة (٤٠٠) ميل مربع من الجزء الجنوبي من منطقة ارض الجبل، وتبلغ سماكة هذه السلسلة خمسين الف (٥٠٠٠٠) قدم. في عـام ١٩٦٨ أعلـن اينغل وآخـرون[١٣] (A.E.J. Engel and others) اكتشاف بنى مجهرية كروية وكأسية الكسم في هذه المجموعة من الصخور الاركية ، تراوح حجم خمسمائة وتسعين (٥٩٠) بنية ما بين ستة الى مائة وثلاثة وتسعين (١٩٣) مليميكرون بدون سيـادة أي حجم مفرد بينها. غير ان هذا التباين البالغ ثلاثين ضعفا بدا انتشـارا أوسع بكثير مما يمكن معـه اعتباره رمزا خصائصيا لمنظومات بيولوجيـة منتظمة.

في أعقاب هذا التقرير او الاعلان قـام جيم بروكس (Jim Brooks) ومارجوري ميور[١٤] (Marjorie Muir) بتحري عينات من طبقات انفرواخـت أولا بمعالجة شرائح من الصخر غير المسحوق بنسبة عشرين بالمائة (٢٠٪) من حامض الهيدروفلوريك لهضم المصفوفة اللاعضوية ، وتمكنا من استحصال فضلة مركزة قاتمة من المادة العضوية تمثل ما بين (٢ر٠) الى (٤٨ر٠) بالمائة بالوزن من العينات. وعند معاينتها بالمجهر الالكتروني تبين ان المواد العضوية كانت بقايا أحفورية لما ظهر انه جدران خلوية لمتعضيات مجهرية تألفت من صنفين أساسيين اثنين، الاول بشكل كريات يبلغ قطرها (٧ الى ١٠) مليميكرون، والثاني بشكل شعيرات بحجم (١٥ الى ٢٠) مليميكرون ، وأظهرت أحافير

المتعضيات المجهرية هذه تشابهات مورفولوجية مع تلك المكتشفة في مجموعة شجرة التين العلوية والاكثر حداثة.



الشكل ١/٣ ـ احفورة مجهرية من تشكيلة انفرواخت

كشف الاستخراج والتحليل الكيميائيان للمادة العضوية المأخوذة من مجموعة شجرة التين عن احتوائها على (٠٠٠٣ر٠ الى ٠١٥ر٠) جزءا بالمليون من الهيدروكاربونات الاليفاتية (C15—C25: aliphatic hydrocarboons) ومقادير أكبر من البريستان (C19 C40: pristane) [١٥]. وتضمنت أحجار انفرواخت الصوانية هيدروكاربونات اليفاتية طليقة، وحوامض دهنية (fatty acid)، وبرافينات عيارية (C12—C24: n-paraffins)، وبريستان، وفيتان (phytane)[١٦]. ولما كان البريستان والفيتان من الهيدروكاربونات شبه الايسوبرينية (isoprene 9. isoprenoid هو سائل عديم اللون متطاير يستحضر من التقطير الجاف للمطاط الخام أو اصطناعيا) فان هذا يدل على ان المادة من أصل حياتي. الا انه عند قيام ناجي (Nagy)[١٧] بفحص مسامية وترشحية (porosity and permeability) حجر صوان الانفرواخت، تبين انه من الممكن ان تكون الهيدروكاربونات منتضحة (percolated) في الصخور بالتقطر من الاعلى.

مع ذلك، فقد كانت اغلب المادة العضوية في الصخور من الكيروجين (Kerogen: وهي مادة قيرية صلبة في بعض السجيل تدر البترول عند تسخينها)، وهو نضالة عسيرة الطرق كان يمكن أن تتكون في مكانها. قامت دوروثي اوهلر[١٨] (Dorothy Ohler) بتحليل الكيروجين بطريقة مختلفة اثناء عملها على اطروحتها مع شوبف بجامعة كاليفورنيا بلوس انجلوس، وأبدت المتعضيات المستمثلة للضوء تفضيلا لـ $C^{12}O_2$ على $C^{13}O_2$ عند امتصاصها لثاني اوكسيد الكربون . وبمقايسة نسبة C^{13}/C^{12} في الكيروجين، أمكن التثبت ما اذا كان هذا قد تأتى من التمثيل الضوئي أم لا، واوحت النتائج التي حصلت عليها اوهلر بالايجاب وان الاوتوتروف (autotrophs) او الذاتيات

الاغتذاء القادرة على تثبيت ثاني اوكسيد الكربون كانت موجودة علىالارض قبل اكثر من ثلاثة آلاف مليون سنة[19].

وباستعمال طريقة نظير الكربون (carbon isotope) قام شوبف وتلامذته بدراسة اقدم الستروماتولايت المعروفة آنذاك، وهي تلك المأخوذة من تشكيلة بولاويو، وبالنتيجة ايد هؤلاء ان هذه البنى كانت قد اختلقت بفعل المتعضيات المستمثلة للضوء، واقترح شوبف[20] ان عمرها المحدد بألفين وستمائة (٢٦٠٠) مليون سنة قد يكون تقديرا في غاية التدني لزمن نشأة الطحالب الخضر زرقاوية او البكتيريا المستمثلة للضوء كمجتمعات بيولوجية متكاملة شعيرية. فقد يمتد اصل الطحالب الحضرزرقاوية أو في الاقل الاسلاف الضوءبكتيرية (photo bacterial) لجميع الطحالب الموجودة اليوم الى أقدم الاحافير المعروفة للمتعضيات المجهرية على الارض، وهي تلك المأخوذة من سلسلة انفرواخت والاحافير المماثلة لها مورفولوجيا المكتشفة في مجموعة واراوونا (Warrawoona Group) في نورثبول بغرب اوستراليا، والتي وجدت أن عمرها يبلغ ثلاثة آلاف وخمسمائة (٣٥٠٠) مليون سنة[21].

كما قد تم اكتشاف أحافير مجهرية مماثلة من الدهرين الاركي والبروتيروزوئي تشبه البكتيريا والطحالب الخضرزرقاوية في مقاطعةاونتاريو بكندا، وفي شرق كاليفورنيا، وفي جنوبي افريقيا، وأوستراليا الوسطى والجنوبية ، والاتحاد السوفياتي[22]. انما توجد درجة من الريبة او اللامعلومية حول البنى المنتظمة التي يربو عمرها على الفي مليون سنة ، لأن المادة العضوية عادة تتجمع في كريات ، ولذلك فان هذا لوحده لا يكفي لتثبيت أصل العمر الحياتي. ومن بين البنى المجهرية الشبيهة بالاحافير والاكثر قدما من الفي مليون سنة التي تم وصفها حتى الآن، ربما ان العديد منها لم

تكن أحافير متعضيات[٢٣]. مع ذلك، فإن الستروماتولايت التي يحتمل انها من أصل طحلبي كانت مزدهرة في ما قبل ثلاثة آلاف مليون الى ثلاثة ومائةمليون سنة خلت، ويمكن ان تعود الطحالب المسؤولة عن نشوئها الى اشكال‌شوهدت في الصخور الرسوبية لمجموعة شجرة التين وسلسلة انفرواخت وايضا في صخور مجموعة واراوونا.

ويفترض ان هذه المتعضيات المجهرية المحتمله من الدهر الاركي كانت من نوع البروكاريوت (procaryotes) وهي ابسط شكل معروف للخلية الحية. ولابد ان خليه اليوكاريوت (Eucaryote)،وهي صنف الخلف البيولوجية الاكثر تقدما وتعقيدا الذي أدى الى نشأة جميع اشكال الحياة اللاحقة، كانت قد ظهرت في زمن ما في الدهر ما قبل الكمبري، واذا كان بريستون كلاود (Preston Cloud)، الخبير الجيولوجي بجامعة كاليفورنيا بساتتابربارة، مصيبا في رأيه، فان خلايا اليوكاريوت ظهرت الى الوجود في فترة ما قبل الفي مليون سنة والف وثلاثمائة مليون سنة خلت.

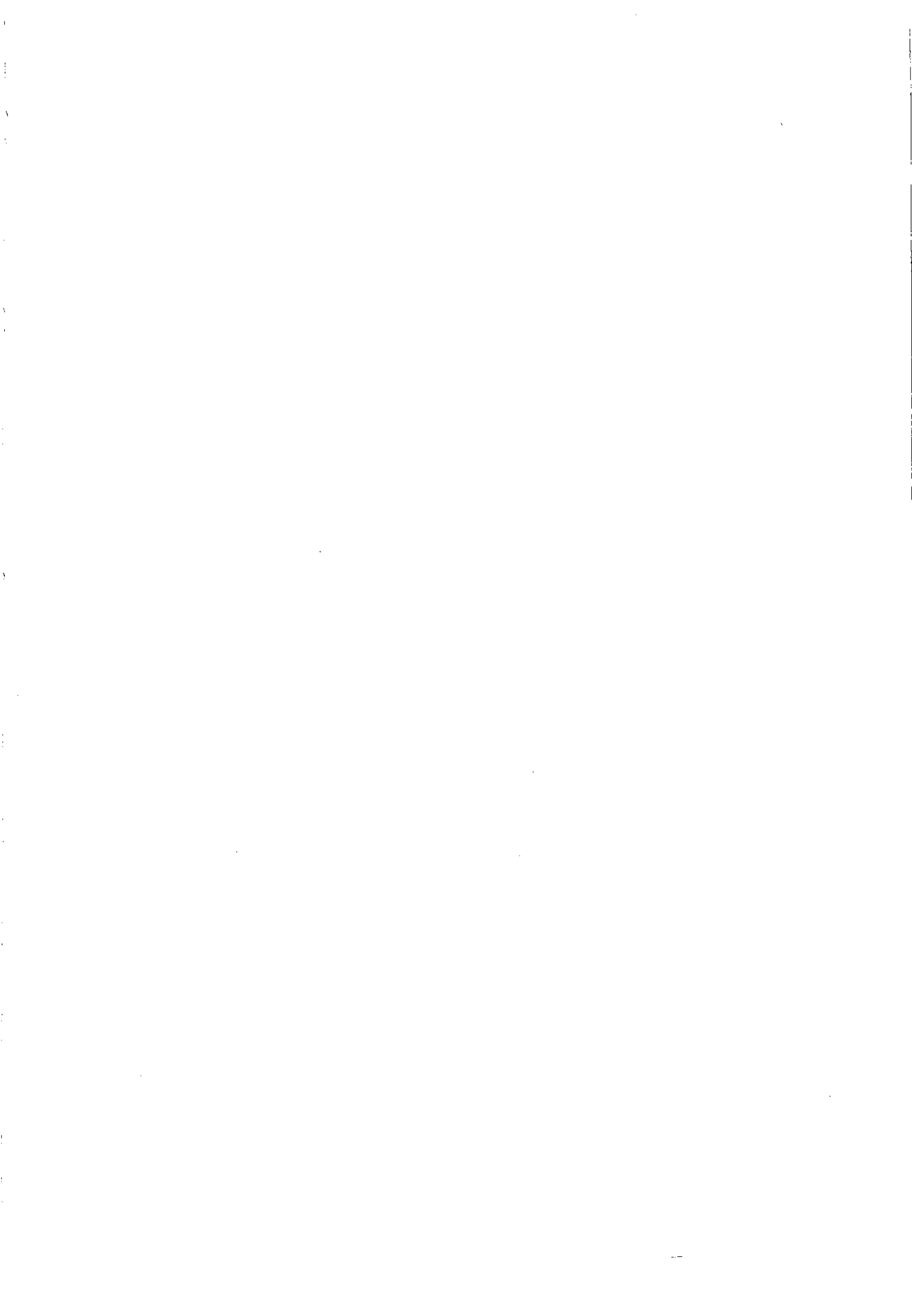
في عام ١٩٦٦ قام كلاود والعاملون معه بتجميع عينات من الحجر الصواني الاسود الواقع في عمق ١٨٫٥ متر تحت الملامسة العلوية لأحجار دولوميت بيك سبرينغ (Beck Spring Dolomite) في شرقي كاليفورنيا، وكشفت دراسة شرائح رقيقة منها عن وجود أحاديات الخلايا واجسام شبه بوغية شوكية جيدة الحفظ فيها. كانت هذه الاحافير لسلالة من الكسمات (shapes) الشعيرية والكروية (spherical) المجهرية مشابهة لمتعضيات مجهرية محتفرة او متحجرة اقدم باستثناء فارقين مهمين اثنين، فقد كانت هذه اكبر بكثير من الاشكال (forms) الاقدم، وبعض الاشكال الشعيرية كانت متفرعة[٢٤]. وتبين التحليلات الحديثة للاحافير المجهرية من حيث الحجم والتوزيع ان اليوكاريوت أكبر بحوالي عشرة اضعاف من البروكاريوت[٢٥].

توجد بروزات صخرية (outcrops) متضمنة للاحافير في عمق (٢٩٠٠) متر تحت أعمق الاحافير الاثرية (trace fussils)للتوالي أواحياء الدهر الوسيط (metazoa) ، وهذه اقل عمرا من الف وسبعمائة (١٧٠٠) مليون سنة. وقد جرى تنسيب هذه الى مجموعة أخرى مؤرخة بعمر يبلغ الف ومائتي مليون سنة الى ألف واربعمائة مليون سنة. ان الاحافير الاكثر تعددا من اماكن مختلفة هي تلك الخاصة بالسيانو بكتيريا الشعيرية المصنفة في الجنس (genus) الجديد المسمى بيكسبرنغيا (Beckspringia). وبعد دراسة النباتات المجهرية في التشكيلات ذوات الاعمار المثبتة حاول ليكاري (Licari) وكلاود درج اصل اليوكاريوت بين ما قبل الف وثلاثمائة مليون الى الف وستمائة مليون سنة خلت[٢٧].

يوجد نزاع حول زمن نشوء اليوكاريوت . فان هيلين تابان[٢٨] (Helen Tappan) من جامعة كاليفورنيا بلوس انجليس، تعتقد ان اليوكاريوت تواجدت في زمن تشكيلة الصوان الوري قبل الفي مليون سنة ، لكن نول وبارغورن[٢٩] (Knoll)، من جهة اخرى، ينفيان تواجد اروغانيلات (organelles) خلوية متحجرة وظهور الخلايا اليوكاريوتية قبل التوالي، غير انه اذا صح رأي بريستون كلاود ، وجيرالد ليكاري، وآخرين، حول أحافير دولوميت بيك سبرنغ، فان هذه الاحافير ستؤشر أعظم اقتحام بيولوجي في تاريخ الحياة على الارض، ألا وهي الخلية اليوكاريوتية.

ولا يزال سجل الاحافير متقطعا بالنسبة الى الفترة الانتقالية من المتعضيات المجهرية الاحادية الخلايا لما قبل الف مليون سنة الى احياء ايدياكارا المؤرخة في ما قبل ستمائة مليون سنة خلت، عندما ظهرت التوالي او الحيوانات المتعددة الخلايا مع خلاياها منظمة في طبقات من النسيج، الا انه قد ظهر

اكتشاف في السنين السبعينية من هذا القرن ربما قد ساعد في اجتسار الثغرة.
فقد أعلن بوين بلوزر (Bonnie Bloeser) وشوبف من جامعة كاليفورنيا بلوس انجليس ، وروبرت هورودسكي (Robert Horodyski) من جامعة طولان (Tulane) ووليام بريد (William Breed) من متحف شمال اريزونا[٣٠] أعلنوا عن عثورهم على أحافير مجهرية في صخور دهر ما قبل الكمبري في وادي غراند كانيون تبدو انها تنتمي الى المجموعة المتميزة لمتعضيات العوالق البحرية الاحادية الخلية المسماة بالقرنيات (chitinozoa) التي تبلغ من العمر سبعمائة وخمسين مليون ± مائة مليون سنة ، ويعتقد ان القرنيات من الهيتروتروف heterotroph أي العضوية الاغتذاء ، وهذا يعني انها، كباقي الحيوانات، لا تستطيع انتاج غذائها وانما تعتمد على التمثيل الضوئي للنباتات، والقرنيات هي الهتروتروف التي تقع بين الحيوانات المتعددة الخلايا والطحالب الاوتوتروفية.



الفصل الرابع ـ
عصر البروكاريوت

كانت الارض قد دارت حول الشمس اكثر من الف (١٠٠٠) مليون مرة قبل ظهور حتى ابسط اشكال الحياة التي تركت أثرا يدل على وجودها ، وكان ذلك عالما مختلفا كثيرا جدا عن عالمنا الذي نعرفه اليوم ، وتألف السطح المقحل الصخري الذي برز فوق البحار البدائية من وجه البراكين السوداء والقاتمة المعتمة . لم يتضمن الجو أي اوكسجين وتألف من النيتروجين وبعض الهيدروجين وأول وثاني اوكسيد الكربون. كانت نسبة ثاني اوكسيد الكربون أقل من واحد بالمائة (١٪) ولكنها مع ذلك كانت عشرة اضعاف تركيزها في الوقت الحاضر ، بينما كانت البحار مجرد أحواض ضحلة من الغسالة الحارة للسطح البازلتي.

تألفت الرواسب من نثار الحتات الناتج عن تآكل الصخور البازلتية في معظمها الناشئة عن أصل بركاني متساقطة في بيئة بحرية لا هوائية ، وأدت الاحوال الانتقاصية للجو والبحار الى ترشح كميات هائلة من أيونات الحديد الثنائي التكافؤ والكبريتيد الى مياه البحار . لم تبدأ البحار باتخاذ خصائصها العصرية الى أن سادت اعادة تدوير الرواسب على تآكل الصخور البازلتية وتضمن الجو قدرا من الاوكسجين المطلق. لكن هذا العصر كان آنذاك لا يزال بعيدا جدا في المستقبل.

كانت تلك بيئة غريبة نازعة ومختلفة كليا لما نعتبره اليوم ملائما للحياة . انما هذا كان مقدرا ليحصل، اذ قبل أكثر من ثلاثة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة تكتل تجمع صغير وبسيط نسبيا من المركبات العضوية في غشاء دهني وبدأ يحتضن تفاعلات بدائية ، تناسخت الخلايا التي تمكنت من

امتصاص المواد المتوفرة وتكثيفها في مركبات من البولي نووتيد (polfnucleotides) والبولي هضميتيد (polypeptides)، واتخذت طبيعة البكتيريا البدائية، ونشأ التأيض (metabolism) عن التفاعلات التي تمكنت الخلايا من استعمالها لتحليل المواد وتحويلها الى طاقة كيميائية لها ولتفاعلاتها التكاثرية • ولانجاز هذا تحتم اختزان الطاقة الكيميائية في حامل (carrier) ونقلها الى جزيئات أخرى ليتسنى تحويلها الى مشتقات منشطة • كانت مشتقات البيروفوسفات (pyrophosphates)، ولاسيما ثلاثي فوسفات الادينوسين (ATP=Adensine Triphosphates : أتب)، من المشتقات المتخذة لهذا الغرض في وقت مبكر وربما كانت الاولى مطلقا • ومتى ما تم تكوينها، كانت هذه المشتقات المنشطة محفزة طاقويا لاتباع التحلل التلقائي، وهي تفاعلات تنشأ وتتم ذاتيا لكنها في الاغلب تكون بطيئة ما لم يجر تحفيزها بمحفز مساعد (catalyst) •

ربما ان هذا المستوى من التطور لم يلبث أن افضى الى نشوء متعضية أخرى ملكت القدرة على ان تستمد كاربونها من الموجود الغزير من ثاني اوكسيد الكربون • لكنها لكي تتمكن من القيام بهذا كانت بحاجة الى مصدر للطاقة والى الهيدروجين، انما كلاهما كانا متعرضان بغزارة، وكل ما مست حاجتها اليه كان طرائق كيميائية لتستخدمها في استخراجهما وتسخيرهما • كانت الشمس تغمر سطح الارض بكميات لا حصر لها من الاشعاع، فكانت المواد الملونة تمتص الضوء المرئي وتحوله الى حرارة، فبدلا من تبدد الطاقة الضوئية وضياعها كطاقة حرارية، كان يجري تناولها واختزانها في بنية كيميائية لفترة زمنية تكفي لاستخدامها لتوليد ثلاثي فوسفات الادينوسين (أثب) واختزال ثاني اوكسيد الكربون فيتوفر للمتعضية خزين من الطاقة حتى عندما لا تتوفر مواد تتغذى منها •

على ما يبدو ان هذه هي المرحلة التي ظهر فيها الفريدوكسين لاول مرة (Felledoxin = بروتين يتضمن حديدا يتواجـد في جبيلـة اليخضـور- الكلوروبلاست chloroplast — وهو عامل اساسي فيعملية التمثيل الضوئي)• واندمجت هذه المادة البيوكيميائية المتكونة من مشبوكة (complex) من الهضمتيد وكبرتيد الحديد الغزير في الجهـاز البيوكيميـائي (biochemical system) وبقيت فيه كمكون عام شائع في الخلايا الحية منذ ذلك الحين• وقد تمكن الفريدوكسين، بصفته أحـد مكونـات جهـاز التمثيـل الضـوئي (photosynthetic apparatcs)-، من تقبل طاقة الضوء الممتصة في الصبغـات واختزانها على مستوى الطاقـة الالكترونيـة (electron energy level) لحين مساس الحاجة الى استخدامها لاختزال ثاني اوكسيد الكربون•

آنذاك كانت أول متعضية مستمثلة للضوء ستحتاج الى خضاب أو صبغة وفريدوكسين ومصدر للهيدروجين، ولابد أن المورد الاول للهيدروجين الى المتعضية البادئة كان المواد التي تطلبت أقل قدر من المورد توفر في المواد العضوية الواقعة في المتناول•

تشير الفرضيات الى ان الهيترتروف (hetertroph) كانت أولى المتعضيات المختلفة في الوجود وكانت تعتاش من مؤايضة خزين من المواد العضويـة ، ولكنها فيما بعد استنبطت شكلا بدائيا من التمثيل الضوئي عندشحةموردها الغذائي، ولا يزال يوجد اليوم بكتيرة مختضبة تعرف باسم اثيورودا سيـا (Athiorhodacea) تبدو انها منحدرة من هذه المرحلة الاولية من الحيـاة • وبوسع الاثيورودا سيا أن تنمو لا هوائيا كهيتروتروفة في محـاليل تتضمن حامض البيوتريك (butyric acid) أو الزبديك وغيره من المغذيـات العضويـة باستخدام الطاقة الكيميائية التي تستمدها منها• انما بوسع هذه المتعضيـة ايضا ان تمتص الضوء وتقوم بعمليـة نقل الهيـدروجين بالتحفيز الضوئي

(photocatalytic transfer) واختزال ثاني اوكسيد الكربون ، ومصدرها للهيدروجين في هذه الحالة هو المادة العضوية غير القابلة للاستنفاع.

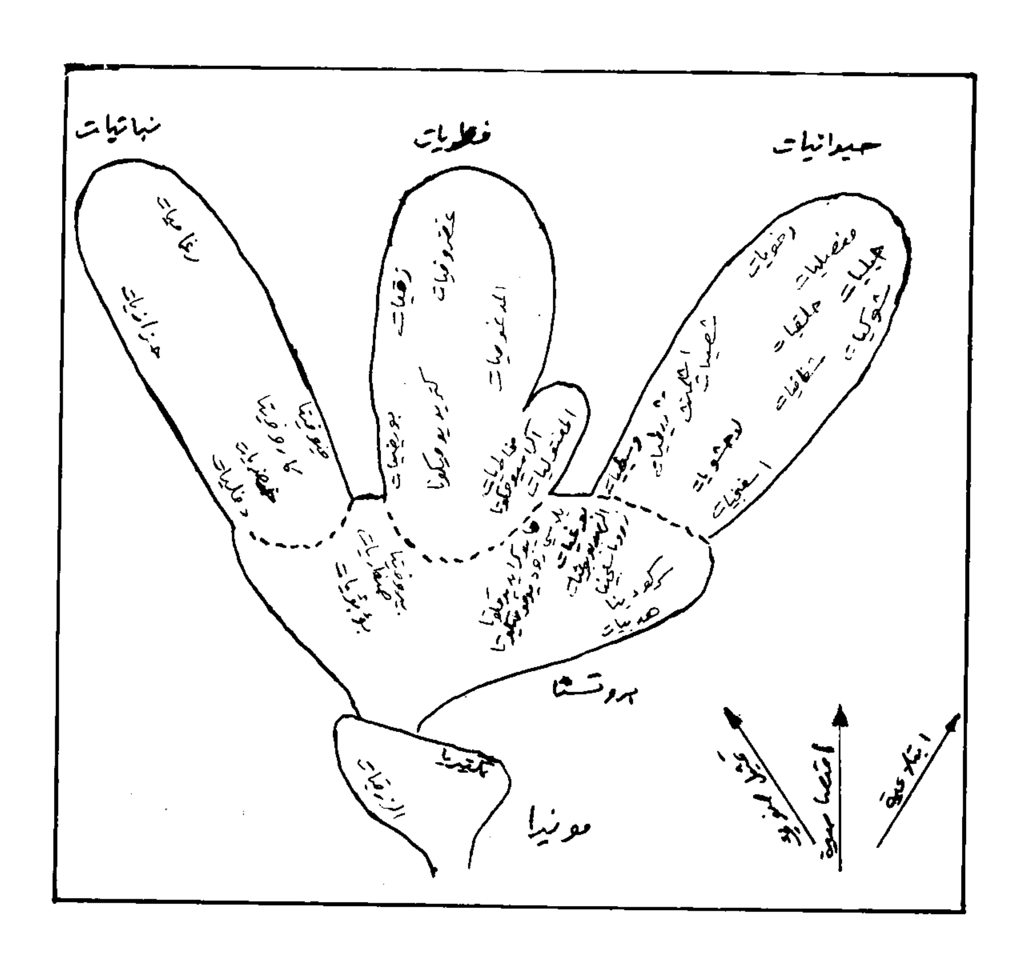
لكن الحاجة أصبحت تتطلب مصدراً آخر من الهيدروجين عندما لم تعد المادة العضوية تتوفر بسهولة أو نضبت كليا، وهنا نشأت بكتيريا مستمثلة للضوء تملك القدرةعلى استخدام كبريتيد الهيدروجين كمصدر لهيدروجينها، ولا يزال هذا الصنف من اللاهوائيات موجودا حتى اليوم بصفة بكتيرة الكبريت الارجوانية المسماة بالكروماتيوم (chromatium) وبكتيرة الكبريت الخضراء المسماة بالكلوروبيوم (chlorobium) ، وكلاهما يوجدان في البحيرات الضحلة وأخوار البحار الضحضاحة حيث يتوفر كبريتيد الهيدروجين بغزارة. وفي كل من هذين الصنفين من التمثيل الضوئي لا يحصل الاوكسجين كمنتوج جانبي.

وبما ان هذه الاشكال البكتيرية للحياة المستمثلة للضوء كانت هي المتعضيات السائدة على الارض طوال مئات عديدة من ملايين السنين ، وحتما بقيت عملية تثبيت ثاني اوكسيد الكربون جارية لفترة طويلة من الزمن قبل أن تنشأ متعضيات في المستوى حيث تملك القدرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي المحررة للاوكسجين . غير انه في الاخير، وبسبب نضوب مورد المصادر الاخرى للهيدروجين ، أو ربما مجردا بسبب محض الغزارة، تطورت متعضية بيوكيميائيا حتى اصبحت قادرة على استخراج الهيدروجين من اغزر مصادره على الارض ، الا وهو الماء. لكنها هنا تطلبت عشرة اضعاف الطاقة لاستخراج الهيدروجين من الماء مما تطلبته لاستخراجه من كبريتيد الهيدروجين ، انما مورد الماء كان لا ينضب . والمتعضية التي طورت تجزئة الماء بالتحفيز الضوئي اصبحت السيانوبكتيريا ومعها بدأ تاريخ انتاج الاوكسجين قبل ثلاثة آلاف مليون سنة خلت.

لم يتم التثبت بالضبط في أي زمن ظهرت الطحالب الخضر زرقاوية الى الوجود، لكن الدراسات بالنظير الكربوني التي أجرتها اوهلر[1] تشير الى تثبيت أو اختزال ثاني اوكسيد الكربون كان متعاصرا مع أقدم الاحافير المجهرية فيما قبل ثلاثة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت، وربما استغرقت هذه العملية ملايين السنين في النشوء ولكنها مع ذلك كانت ستتوافق مع أقدم الاحافير. وعلى ما يظهر ان الستروماتولايت البولاويانية من زيمبابوي نشأت عن النشاط السيانوبكتيري، ولما كانت هذه مؤرخة فيما قبل الفين وستمائة مليون سنة ، فان فترة قدرها ثمانمائة مليون سنة ، وهي اطول من فترة نشوء الانسان من مستوى الاوالي أو الاحادية الخلية (protozoan) ، تكون قد انقضت من اول ظهور الحياة الى الزمن حين كانت الطحالب الخضرزرقاوية تنمو بغزارة في المياه الدافئة في بحار الدهر الاركي.

ليس ثمة شك مطلق في ان السيانوبكتيريا كانت بين اعتق اشكال الحياة التي ظهرت على الارض، ومن بين اكثرها نجاحا . وهذه المتعضيات المجهرية البسيطة لا تزال باقية حتى اليوم وتتواجد بغزارة في تجمعات المياه العذبة الضحلة كالبرك والحفر والبحيرات الضحضاحة ، وذلك اثناء ومباشرة اعقاب فترات درجات حرارة الهواء العالية . وهي لحد ما موجودة في كل مكان ،من المناطق القطبية ، وفي جميع انحاء المناطق المعتدلة ، وهي في مياه المدارين (tropics) الدافئة . كما انها، باستثناء بعض البكتيريا ، تنمو ايضا حيث تعجز عنه المتعضيات الاخرى، وذلك في مياه الينابيع الحارة التي لا تقل درجة حرارتها عن ثمانين(٨٠°) درجة مئوية[2] كالتي في نيوزيلندة وفي يلوستون بكاليفورنيا.

تنتمي البكتيريا والسيانوبكتيريا الى مرتبة خـاصة من الحيـاة تسمى بالمونيرا (monera: النوويات) ، بينما تنتمي جميع الكائنات الحية الاخرى أما الى صنف المتعضيات المجهرية الأحادية الخلية اليوكاريوتية او الى اشكال الحياة المتعددة الخلايا اليوكاريوتية • اذ، خلاف التصنيف التقليدي الثنائي للحياة الى مملكة حيوانية وأخرى نباتية ، يستحسن تبويب العلاقات النشوئية في تصنيف خماسي الممالك، والبروكاريوت تقع بين افراد مرتبة المـونيرا وتتميز ببساطة بنيتها الخلوية ، بينما جميع اشكال الحياة الاخرى هي امـا خلايا مفردة يوكاريوتية او متعددة الخلايـا يوكاريوتيـة تكون النواة او الميتوكوندريون (mitochondrion) والمكونات الاخرى للخلية فيها مغلفة في غشاء• أما في البروكاريوت فالشيء الوحيد المغلف بالغشـاء هو الخليـة نفسها•



الشكل ٤/١ ـ التصنيف الحياتي الخماسي الممالك مبنيا على ثلاثة مستويات من التطور هي: ١ ـ البروكاريوت (مونيرا) • ٢ ـ الاحادي الخلية اليوكاريوتي (بروتستا) و ٣ ـ المتعدد الخلايا اليوكاريوتي • وكل مستوى يتشعب الى مفترقات بالنسبة الى طريقة الاغتذاء، فالمونيرا تستخدم التمثيل الضوئي والامتصاص ، والمستويان الاعليان ينقسمان الى تمثيل ضوئي وامتصاصي وابتلاعي.

ان خلايا السيانوبكتيريا مغتمدة في وعاء غروي خارجي تليـه طبقـة نشوية وسيطة ثم جدار باطني مـن الخليولوز او السيليولوز (cellulose). وعلى جدران خلايا الطحالب الاخرى، ان جدران خلايا الطحالب الخضرزرقاوية تتضمن حوامض امينية مثلما هي الحال في الجدران البكتيرية، لقـد ظهرت الطحالب الخضرزرقاوية في زمن مبكركرزمة متينة ومقتدرة من التمثيل الضوئي، وباستخراج ثاني اوكسيد الكربون واستخـدام الماء كمورد للهيدروجين تقوم بتحويله الى نشاءسيـانوفيشي (cyano-phycean) ـ: نشـاء حشـائشي بحري مختضب بالزرقة). ومن جهة أخرى كانت هذه الطحالب ولا تزال ابسط النباتات المنتجة للغذاء.

اختتم الدهر الاركي قبل الفين وخمسمائة (٢٥٠٠) مليون سنة بتصاعد الجبال الذروي ، وأصبح معـه الـدرع الكندي (Canadian shield) اقليـم كينوران الذي جاء كاضافة متممة لهوامش القارة النامية ممتدة من اقليـم سلاف في الشمال الغربي من لابرادور شرقا عبر غرينلندة لتنتهي في الاجراف القارية للاطلنطي ما بين غرينلندة وسكوتلندة . كما حصلت تطورات مماثلة في غرب أوستراليا، وجنوب الهند، واواسط وجنوب افريقيا، والاحـواض الرسوبية الآخذة بالتكون آنذاك كانت من اصل الاغوار الكراتونية (cratonal) وذلك على نقيض الرواسب البركانية التي تكونت في أزمنة سابقة لهذا.

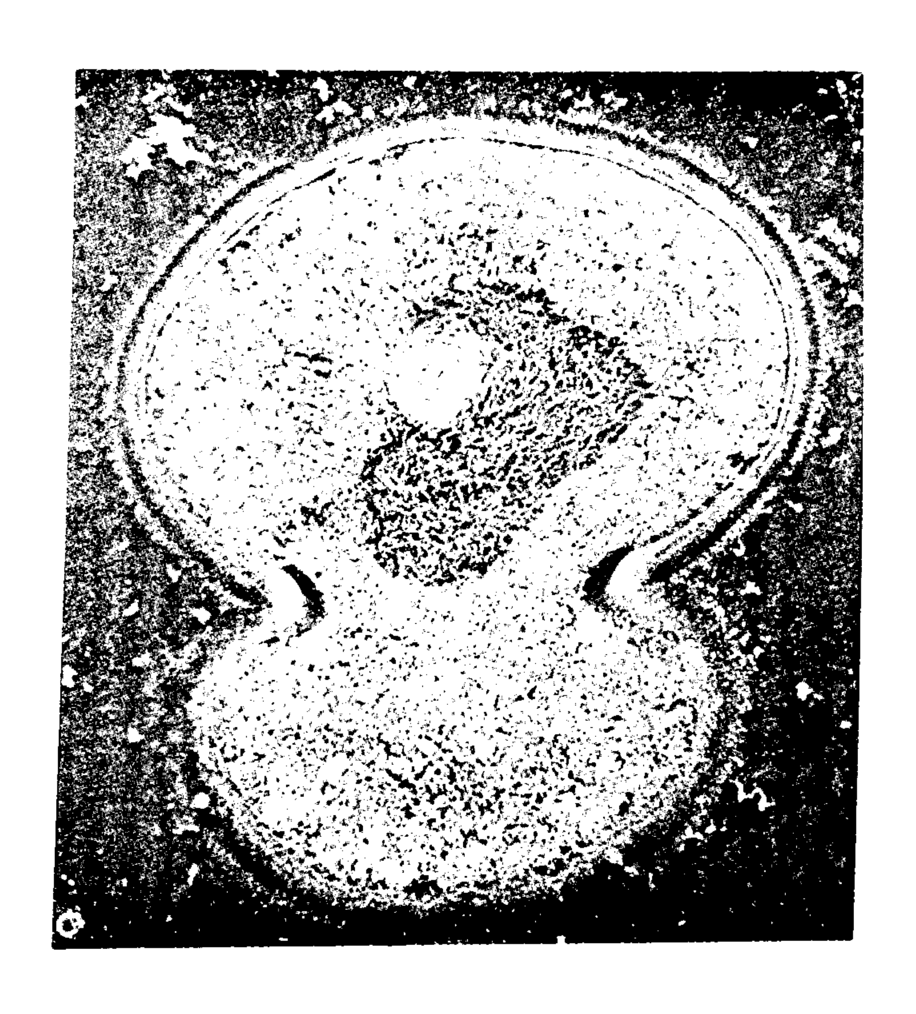
لقد بدأت الحياة على الارض في بيئة عديمة الاوكسجين . كان الجو يتضمن قدرا ضئيلا من الهيدروجين ، وكانت الصخور وأغلـب الفلـزات المحلولة في البحار في حالتها المنقوصة وتكافؤها الادنى، وهـذا الوضع ملحوظ على الاخص بالنسبة الى الحـديد والكبريت . ان املاح الحـديد الثنائي التكافؤ قابلة للذوبان نسبيا ، لكن الحديد المؤكسد مقاوم للذوبان. وكنتيجة لهذا ان تركيز الحديد المذاب في البحار اليوم منخفض للغاية (ويبلغ

اقل من ١٠^-٧ مولار molarوهي وحدة جزيئية غرامية، و molar هي صيغة النسبة من مول mole وهي كتلة تتضمن كمية من المادة الكيميائية لها وزن بالغرام يساوي عدديا وزنها الجزيئي، والمولة (تعريبا) الواحدة من المـادة تحتوي على ٦٫٠٢٢٥٧×١٠^٢٣ جزيئة)، انما الوضع في الدهر الاركي كانعلى نقيض هذا . اما الكبريت ، وهو سريع التأكسد ، فيتواجد بوجه رئيسي ككبريتات او سلفات (sulfide)من كبريتيد الهيدروجين المذاب الناشىء من أصل بركاني.

تألفت الحياة البدائية التي نشأت في ظل هذه الظروف من متعضيـات مجهرية لا هوائية تؤايض كربوهيدراتها بالتحليل التخميري وتستخرج الطاقة المخزونة في الروابط الكميائية عند اختزال ثاني اوكسيد الكربون الىسكاكر بفعل التمثيـل الضوئي بنفس الطريقـة التي تحصل في الخميرة (yeast) اليوم. وكانت هذه الطريقة بالنسبة الى شكل الحياة البسيط القائم في ظل الظروف البيئية السائدة آنذاك طريقة بيوكيميائية تامة ووافية بالغرض.
لكن تحرير الاوكسجين من قبل السيانوبكتيريا في تحفيزها الضوئي (photo catalysis) للماء جاء بتلويث خطر علىجميع اشكالالحياة .فالاوكسجين الطليق عامل شديد التفاعل يؤكسد بسرعة المواد المختزلة ، فلزيـة كانت أم بيولوجية. وعليه ، لتفادي هلاكها بفعل فضلاتها الذاتية اضطرت الطحـالب الخضرزرقاوية الى معادلة أو محايدة الاوكسجين أو ازالته من بيئتها مباشرة فور تولده. وفي البحار الاركية كان الحديد الثنائي التكافؤ النوعالكيميائي الاكثر توفرا وتفاعلا الصالح لهذه الوظيفة، وفيما تفاعلت املاح الحـديد الثنائي التكافؤ مع الاوكسجين اخذ اوكسيد الحديد الثنائي التكافؤ المقاوم للذوبان يترسب، وعلى مر الزمن كانت نشأة الاوكسجين قد جاءت لتغيـر خواص البحار . وبحلول أواخر الدهر الاركي كانت الطحالب الخضرزرقاوية

واسعة الانتشار ومزدهرة ، ومع انقضاء خمسمائة (٥٠٠) مليون سنة أخرى على ذلك، كانت تولد كمية من الاوكسجين كبيرة بما جعل الحديد الثنائي التكافؤ ينضب من البحار ، وأصبحت قرارات هائلة من حجر الصوان الحديدي الطبقات المترسب من السيليكا المترسبة ، أصبحت الخامات الحديدية الواقعة الآن في امريكا الشمالية حول البحيرات العظمى وفي لابرادور ، واقليم هلمزلي بغرب اوستراليا ، وفي موريتانيا بشمال غرب افريقيا.

كانت درجة الحرارة المناخية تنخفض ببطء الى ما دون سبعين(٧٠°) درجة مئوية في أواسط الدهر الاركي قبل ثلاثة آلاف مليون سنة . وبين ما قبل الفين ومائتي (٢٢٠٠) مليون سنة والفي (٢٠٠٠) مليون سنة دخلت الارض في احدى دوراتها البرودية وحصل أول عصر جليدي معروف. ومن ذلك الزمن فصاعدا اصبحت هذه الواقعة خاصية متكررة في تاريخ الارض.



الشكل ٤/٢ ـ السيانوبكتيريا (غليوكابسا Gloeocapsa) مكبرة (٤٠٥٠٠) الفا وخمسمائة مرة بالمجهر الالكتروني ، والصورة تبين مقطعا طوليا لخلية في حالة الانقسام . والمنطقة الباهتة الوسطية تتضمن الحامض الخلوي الصبغي (دنا DNA)، والخطوط المتراكزة المحززة هي رهائف شريحية تتم فيها عملية التمثيل الضوئي.

حصل آخر استقرار عظيم للتشكيلات الحديدية الطبقات في الفترة بين ما قبل الفي (٢٠٠٠) مليون سنة والف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت. وفي أعقاب ذلك، بعدمـا كان الكثير او معظـم الحـديد قد تأكسد ، بدأ الاوكسجين يتسرب الى الجو . وتوجد بعض قرارات حجر الحديد من هذا الزمن تتضمن الاؤوليت (oolites = حجر كلسي بطرخي) وبنى أخرى تدل على تجمعات مائية ضحلة وتبين بأنها كانت من بين أقدم الخطوط الساحلية في ماضي الارض. ويمكن اليوم مشاهدة بقايا هذه في لابرادور وفي كاريليا على مقربة من الحدود بين فنلندة والاتحاد السوفيتي.

بهذا الوقت كانت انواع وأشكال الحياة المجهرية قد ازدادت تنوعا الى حد كبير، وهذا هو زمن تشكيلة الصـوان الوري (Gunflint Formation) التي تركت كمية كبرى من الاحافير المجهرية البكتيرية والاشباه طحلبية . مع ذلك، كانت الحياة لا تزال على مستواها الميكروبي (microbial) ومقتصرة على البحار، وكان البر اليابس لا يزال عقيمـا مقفرا لا يضم حتى ابسط اشكال النبات.

ومن جهة أخرى كانت البحار تضج بالحياة . فالجهاز البيولوجي الكفء لدى الطحالب الخضرزرقاوية للاستدرار من المخزونات اللامحدودة من ثاني اوكسيد الكربون والماء وضوء الشمس لتشييد ولبناء مكوناتها العضوية مكنها من التوسع والانتشار في بقع بيئية ملائمة ومحمية من البحار . وبحلـول أواسط الدهر البروتيروزوئي كانت هذه شكل الحياة السائد لدرجة يمكن معها تسمية هذا الزمن بالعصر السيانوفيشي. ورغم ان الطحالب الخضرزرقاوية بذاتها مجهرية الحجم، فانها كانت تترك في المياه الضحلة مخلفات عظيمـة تشهد على تواجدها.

وبما ان المنظومات البيولوجية الاولية كانت تعيش في زمن كان جوه

معدوما من الاوكسجين فانها كانت محرومة من طبقة الاوزون لدرء الاشعة ما فوق البنفسجية القتالة عنها. وكل متعضية نجت وبقيت في الحياة في مثل هذه الظروف تمكنت من ذلك بفضل احتمائها في امـاكن مستورة أو في اعماق بعيدة لم يصل اليهـا هذا الاشعـاع، ولهـذا السبب قـد نشأت السيانوبكتيريا من اسلاف متكيفة للغاية للحيـاة في الضوء الضعيف . وفي الاخير استنبطت هذه العوالق العشبية البحرية (phytoplankton)أغمدةجلاتينية سميكة ملونة أو شفافة لتقيها شدة الضوء الباهر . عاش العديد منهـا في مستوطنات او كتل لا شكلية او طبقات مخاطية نشأت بفعل ذوبان وتلاحم الاغمدة الفردية . وبما انها كانت تتأثر بالضوء فقد كانت تنتقل تحت ستـار أية رواسب تحجب عنها الضوء كليا ، وفيما فعلت ذلك تلاصق مخاطها وأحتجز الجسيمات في اماكنها. كان العديد منها يملك اغمدة مخاطية لزجة شكلت شبكات متخلخلة من الشعيرات تساقطت الرواسب من خلالها وخلقت أشكالا عمودية. لذلك ، بالرغم من كون هذه الطحالب الخضرزرقاوية مادة خلوية فانية ، فانها قد تركت آثارا دائمية في الستروماتوليت الواسعة الانتشار في الدهر الاركي.

بدأت اقدم قرارات كبريتات الكلسيوم تتكـون قبـل حوالي الف وخمسمائة (١٥٠٠) مليون سنة خلت وبالرغم من ان ايونات الكبريتاتكانت قد تواجدت في حالة المحلول ربما لزمن قبل هذا التاريخ، فان هذا يدل على توفر ما يكفي من الاوكسجين الطليق الآن لاكسدة حوامض الكبريـت في البحار . وبانقضاء نحو ثلاث ارباع الزمن الجيولوجي لابد ان البحار كانت في هذا الاوان قد بلغت احجامها التي هي عليها اليوم، وكانت تتخذخصائصها العصرية.

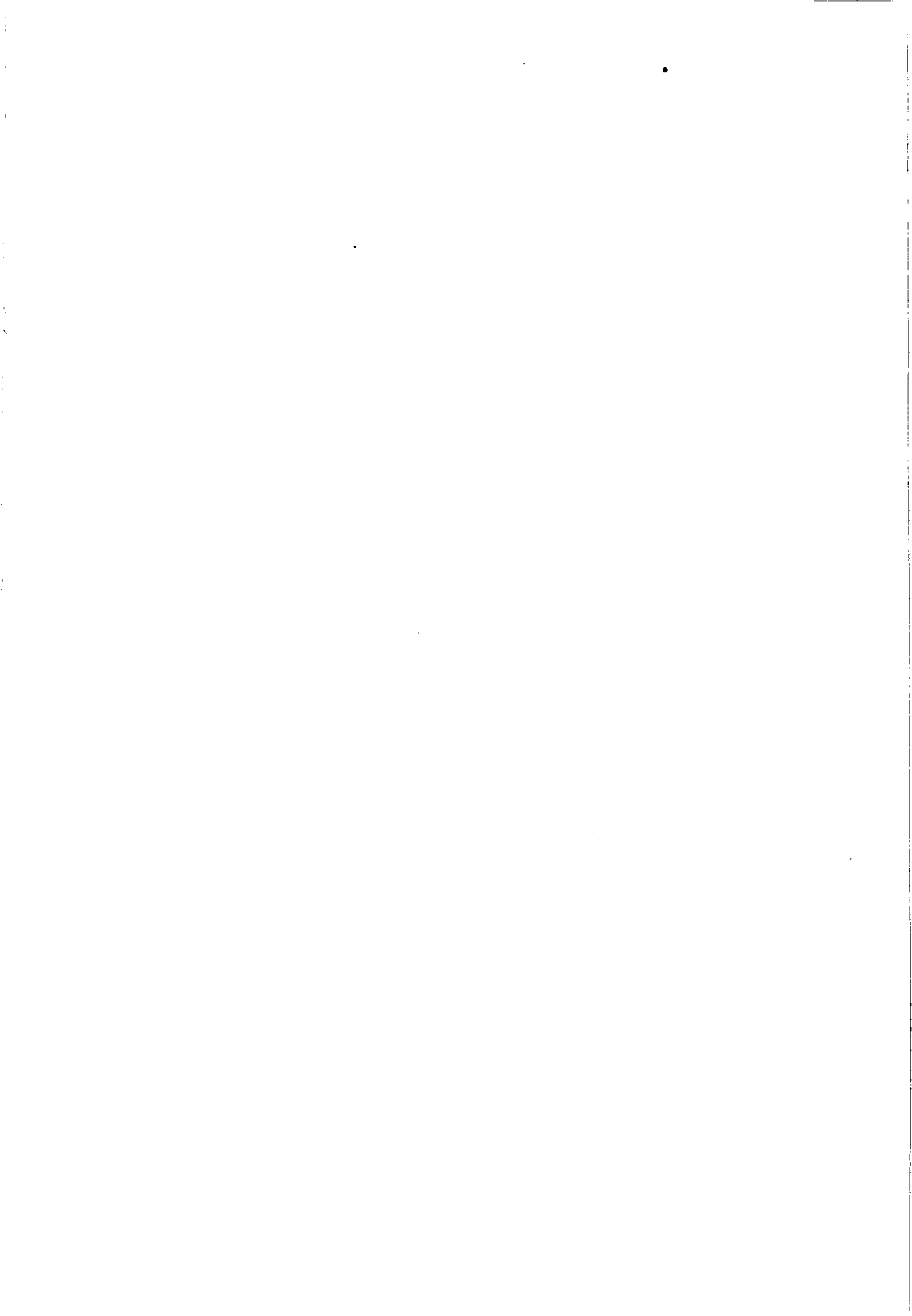
نظرا لأن جميع الاحياء المجهرية التي قطنت البحار نشأت وتطورت في

بيئة خالية من الاوكسجين ، فانها كانت لا هوائية ، أي انها لم تستخدم التنفس التأكسدي . فهي لم تحتج الى الاوكسجين ولم ترغب فيه، وقد كان بالنسبة اليها بمثابة السم القتال . لكن مع استقرار آخر الحديد الثنائي التكافؤ في تشكيلات من الطبقات الحديدية بدأ الاوكسجين الطليق ، اعتبارا من حوالي ما قبل الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة فصاعدا ، يتسرب الى الجو من تفاعل التمثيل الضوئي للطحالب الخضرزرقاوية . استغرق الاوكسجين الناتج عن التمثيل الضوئي أكثر من الف مليون سنة ليؤكسد جميع المواد الموجودة في نطاقي جو الارض البحري والعلوي، لكن العملية استمرت باطراد . وأخيرا شكل هذا التغير في بيئة الارض من احوال انتقاصية الى تأكسدية خطرا داهما على قاطنيها الذين ظلوا سادة الارض غير المنازعين لفترة تناهز الالفي مليون سنة.

والعديد من الاحياء التي عاشت واجهت هذا الخطر بتنمية خمائر أو أنزيمات (Enzymes) كوسائط توفيقية للاوكسجين تسمى بالاوكسيداز (oxidases) لوقاية مكوناتها البيولوجية من التلف بفعل الاوكسجين ، وربما ان بعضها نجا بالتراجع واللجوء الى بقع خالية من الاوكسجين ، وتتواجد هذه اليوم بمثابة بكتيريا لا هوائية ، لكن عصر البروكاريوت كان يشارف على الاختتام ، ووافاها مصيرها المحتوم بفعل تزايد اكسجة الماء والهواء بأطراد.

لقد كان لويس باستور (Louis Pasteur) الذي اكتشف ان اللاهوائيات المقتصرة تعجز عن تحمل تركيزات اوكسجينية فوق نسبة واحد بالمائة (١٪) من المستوى الجوي الحالي. وبعد اكسدة املاح وفلزات البحار وغازات الجو المنقوصة بدأت تركيزات الاوكسجين الطليق في الهواء تتجه نحو نقطة

باستور (Pasteur Point) ، ولربمـا ان مستوى الاوكسجين كان قد بلغ ارتفاعا خطرا على اللاهوائيات في الجو السائد قبل ألف واربعمائة (١٤٠٠) مليون سنة خلت، عندما افضى تغير البيئة الى ظهور اليوكاريوت.



الفصل الخامس ـ ظهور اليوكاريوت

لا يمكن أن يعيش في الحرارة العــالية السائدة في الدهر الأركي غير ابسط أنواع الخلايا ، لكن هذا المناخ كان يبرد بالتدريج وفي ما قبل الف وثلاثمائة (١٣٠٠) مليون سنة خلت كانت هذه الحرارة قد انخفضت من حوالي سبعين درجة (٧٠°) مئوية الى اثنتين وخمسين درجة(٥٢°) مئويــة ، وهي درجة الحرارة الواقعة مباشرة دون نقطة التغير التلقائي لطبيعة البروتينات المشتبكة[١] (complex proteins) ونشأت الخلية اليوكاريوتية (Eucaryotic cell) عندما كانت درجة الحرارة الكلية قد هبطت الى مستوى يتناسب مع بنيتها الجزيئية والخلوية ، كمــا كانت اليوكاريــوت (Eucaryote) ايضا افضــل استعدادا وتهيئة للتعايش مع تواجد الاوكسجين المطلق مما كانت المتعضيات اللاهوائية.

ومنذ ظهورها بين ما قبل الف واربعمــائة (١٤٠٠) مليون سنة والف ومائتي (١٢٠٠) مليون سنة خلت فصاعدا أخذت اليوكاريوت تعمل على رفع مقدرة تنظيمها الخلوي الجديد الثوروي، لكن طالما بقي الاوكسجين الجوي بنسبة أقل من واحد بالمــائة (١٪) من مستــواه اليوم، لم يكن ممكنا غير التأيض التخمري للكربوهيدرات فقط، واقتصرت على البقاء في المستوى المجهري للخميرة (yeast) •

إنما بعد انقضاء خمسمائة (٥٠٠) مليون على ذلك الزمن كانت بيئــة الارض قد تعرضت لتحول ملحوظ وكانت اليوكاريوت تعكس هذا التغيير فيما استمرت بنيتها الخلوية المشتبكة (complex cellular structure) تتطور الى تركيبة (composition) أكثر كفاءة ، وبحلول زمن مــا قبل سبعمائة وخمسين

(٧٥٠) مليون سنة خلت كانت قد بلغت مستوى التعقيد الموجود في القرنيات (Chitirozoans) •

كان المناخ مستمرا في البرود وكانت البحار اشبه الى حد كبير بما هي عليه اليوم• لكن اشكال الحياة الموجودة كانت لا تزال كلها مقصورة على البحار ، بينما بقيت القارات جدباء مقفرة رغم انها كانت الآن تشغل ما يقرب من ثلاثين بالمائة (٣٠٪) من مساحة الارض وتتخللها الانهار والبحيرات انما بدون أية نباتات أو حيوانات • كما كانت فترة اليوم الكامل قد امتدت الى عشرين (٢٠) ساعة مع اربعمائة واثنين واربعين (٤٤٢) يوما في السنة الواحدة[٢] ولم يعد القمر الآن تلك الكرة الرهيبة المتسلطة على سماء الليل ، فانه كان طوال العصور يتراجع عن الارض الى أن في حوالي نهاية الدهر ما قبل الكمبري كان قد امسى يبدو بحجم لا يتجاوز ضعف حجمه الحالي•

في حوالي هذا الزمن بدأت بعض الخلايا اليوكاريوتية تنبذ طرقها الوحدانية وأخذت تتجمع في مستوطنات بمثابة مجموعة سائبة العلاقات• وخلال فترة قصيرة نسبيا اتخذت المستوطنة صفة خاصة بها فيما اصبحت الخلايا الفردية أكثر اعتمادا على كونها جزءا من المجموعة • كانت الخلايا تتفاعل مع بعضها بافراز كيماويات وايونات لها اثرها في التكوين البيوكيميائي المتحكم في التناسل والمنتوجات لبعضها البعض • وبهذه الطريقة أصبحت الخلايا ضمن المستوطنة متخصصة ومختلفة الواحدة عن الاخرى في المجموعة، والمستوطنات التي أحرزت افضل النجاح بهذا التعايش الجماعي في تجميع المواد الغذائية والدفاع ضد الهجمات الخارجية تطورت وخلفت النزعة الوراثية للتباين اللازمة للتنظيم الاستيطاني•

ليس هذا الوصف للاوضاع تحديسيا مجردا ، فانه توجد اليوممنظومات

حية لا تزال في هذا الطور المتوسط من التنظيم حيث تصبح الخلايات مستوطنات متحدة ومتخصصة ، ولكن ليس الى الدرجة التي يمكن معها تصنيفها كمتعضيات متعددة الخلايا . كما يوجد بين الطحالب الخضراء شكل أحادي الخلية يشتمل على جبيلة يخضورية (chloroplast) ونقرة عينية (eyespot) وسوطين اثنين (flagella) او تتوئين خويطيين يستخدمان للتنقل وتحريك تيارات الماء. بضمن هذه الفصيلة (family) تقع الباندورينا (pandorina) التي يقوم بعضها بتشكيل مستوطنات تتألف من اربع الى اثنتين وثلاثين (٤ــ٣٢) خلية . وهذه المستوطنات ليست مجرد تكردسات ، لأن الخلايا تسبح بحركات متناسقة من اسواطها . والغونيوم (Gonium) فصيلة أخرى من هذه المجموعة التي تشكل مستوطنات .

وتتميز الفولفوكس (volvox) بتشكيل المستوطنات الاكثر رقيا ، اذ يقوم هذا الجنس (genus) من السوطيات (flagellates) الخضراء الباهتة بتشكيل مستوطنة من بين خمسمائة الى خمسين الف (٥٠٠ــ٥٠٠٠٠) خلية مرتبة في قبة أو كرة جوفاء يبلغ طول قطرها حوالي خمس البوصة (١/٥ انج) وبينما تبدو خلايا الباندورينا والغونيوم متشابهة تصبح خلايا الفولفوكس متخصصة، فالخلايا في مقدمة الكرة تملك نقرا عينية اكبر، وبعض الخلايا فقط تنسخ نفسها، وترتبط خلايا المستوطنة ببعضها البعض بأوهان وشعيرات رفيعة من الجبلة الاولية او البروتوبلازمة (protoplasmic strands) . أما تناسخ او تكاثر المستوطنة فيتم عندما تقوم الخلايا في الخلف بالانقسام منتجة كرة صغيرة جديدة من الخلايا تطلق في باطن المستوطنة الأم، وعندما تموت المستوطنة المسنة تنفرج المستوطنات الشابة الى الخارج لتنتشر وتكرر الدورة[٣].

من تشكيل المستوطنات كانت اليوكاريوت تعبر العتبة لتصبح التوالي

(Metazoa) أو حيوانات متعددة الخلايا • ومثلما توجد أخلاف من اغلب مراحل النشوء التطوري، توجد انواع (species)حية من هذه قاومت التغير وبقيت في البقع البيئية الملائمة لها والتي كانت سائدة في زمن انتشار ذلك المستوى من التطور ، والاسفنج حيوان يقع في الحد الفاصل بين التطور الاحادي الخلية والمتعدد الخلايا•

يتكون سطح الاسفنج من الاكتوسومات (Ectosome= أو الحلميات الجلدية) وهو طبقة او طبقات من الخلايا تتخلله مسامات دقيقة• والبدن مخطط بقنوات عديدة تمر الى ومن الحجرات السوطية كأقماع الخياطة الصغيرة مبطنة بخلايا تحمل اطواقا قمعية الشكل• تتناول الاسفنجة القوت والاوكسجين بسحب الماء من خلال المسامات والقنوات الى الحجرات السوطية ذوات الخلايا الطوقية وتفرغه ثانية من خلال منافذ بينما تذرق الفضلات الناتجة من الهضم والتنفس بواسطة تيار الزفير•

يوجد على الساحل الشرقي لامريكا الشمالية من نوفا سكوشيا الى كارولينا الجنوبية اسفنج صغير وجد ينمو اعتياديا على محارات من نوع مايكرشيونا بروليفرا (microciona prolifera)• يبدأ هذا الاسفنج الحياة كقشرة رقيقة ، ولكنه فيما يتقدم في العمر يرسل فصوصا رأسية كالاصابع لها فتحات كبيرة نوعا ما كمنافذ في منتهياتها، وتتزايد هذه التنوعاتفي العدد كلما تقدم الاسفنج في العمر الى أن تشكل ما يشبه بعليقة ذات فروع متضافرة، وبعض الانواع تنمو الى ارتفاع ثماني بوصات (٨ انج) ويتغير لون هذا الاسفنج موسميا ، انما في الصيف والخريف يبقى أحمر بلون الطماطة•

في عام ١٩٠٧ قام ايج في ويلسون (H.V. Wilson)[٤] وهو خبير

بيولوجي من جامعة كارولاينا الشمالية في تشابل هيل بتقضية صيفه في مختبر مكتب مصائد الاسمـاك للولايات المتحدة الكائن في مرفأ بوفورت يجري البحوث على هوايته الشخصية وهي انحطاط وتجـدد الانسجـة الحيـة (tissue) وبما انه كان على البحوث بقدرات التجدد العجيبة لدى الميكروشيونا بروليفرا، فانه اعتزم على اجراء التجارب على هذه الاسفنجة الحمراء الصغيرة.

قطع الاسفنجة الى قطع صغيرة بمقص ورشح الانسجة من خلال قماش تنخيل دقيق . ثم جعل هذا القماش كالكيس يضم قطع النسيج تلك وغمسه في وعاء من ماء البحر المرشح وعصره بجفت. اتضحت سحب حمراء من القماش الى الماء وبسرعة استقرت في القاع كرواسب دقيقة . وبعـد تقطيع الاسفنجة وترشيح الخلايا التكوينية لها في وعاء من الماء، أخذ ويلسون يدرس بامعان سلوك الراسب.

وأثناء ما كان يراقب بدأت الخلايا تلتحم ببعضها ، وبعد فترة قصيرة كانت قد تكتلت في عدة قضاضات أو كريات صغيرة ، ثـم امتدت تنوءات من الجبلة الاولية (protoplasm) او الاقدام الكاذبـة (pseudopodia) الى سطح الوعاء وعندما تلامست هذه مع مجموعات أخرى من الخلايا التأمت القضاضات معا لتشكل واحدة ، وفي الاخير التحمت جميع الكريات الخلوية في قشرة واحدة مفردة ، وبدأ تمايز الخلايا . وفيما تعاقبت الايام ، ظهرت حجـرات سوطية بأعداد كبيرة موصولة بقنوات تشكلت في البنية، والآن بدأت انبوبات منفذية قصيرة تنمو رأسيا من القشرة، وبعد ستة أو سبعة ايام كانت الاسفنجة الصغيرة الحمراء قد جددت نفسها.

يأتي الاسفنج في أدنى مستويات التطور للحيوانات المتعددة الخلايا . لكن التجربة كانت رائعة في التدليل على ان التوالي تنشأ من خلايا حية فردية تتجمع بالتناسق بطريقة معينة لتخلق رتبة أعلى من الحياة . كما ايدت هـذه

التجربة ايضا النظرية القائلة بأن الخلية الفردية هي الوحدة الاولية ذات الوظيفة التطورية.

بعد ذلك قام ويلسون باجراء التجارب على عينات من اللاحشويات (coelenterates) وهي الشعبة المعروفة على نطاق اوسع بالسمك الهلامي، وهي المرحلة الانتقالية التي أدت الى جميع شعب الحيوانات الاعلى. وبما ان بنية اللاحشويات تتألف من طبقتين من النسيج خارجية (Exoderm) وباطنية (Endoderm)، فانها أكثر تطورا من بنية الاسفنج. مع ذلك، عند تقطيع متعددات الارجل (polyps) الخاصة بالهداريات (hydroids) الى شظايا وعصرها في قماش دقيق، أخذت هذه الخلايا المقطعة تتجمع ايضا وتعيد ترتيب ذاتها انتقائيا لتعيد تشكيل الحيوان الاصلي.

لم تسفر تجربة ويلسون الخلابة عن شيء يذكر طوال الثلاثين عاما التالية. وفي عام ١٩٣٩ قام يوهانيس هولتفريتر[٥] (Johannes Holtfreter)، الخبير البيولوجي من معهد قيصر ويليام في برلين، بتقطيع خلايا جنين ضفدعة في محلول خال من ايونات الكلسيوم والمغنيسيوم. وعندما ترك الخلايا العالقة في المحلول لتسكن بلا حراك، بدأت الخلايا تنسق نفسها وفي الاخير اعادة تكوين الجنين الاصلي (embryo). وفي عام ١٩٥٢ قام أي وأيج موسكونا[٦] (A. and H. Moscona) باجراء هذه التجربة على أجنة طيور، وتبعهما باحثون آخرون عملوا بنجاح على انسجة عينية من الثدييات. انما لاسباب سيأتي شرحها لاحقا، لا تنجح هذه التجربة الا على أجنة في مراحلها الاولية فقط.

ينمو جسم الانسان، وكذلك جسم أي فرد آخر من التوالي، من خلية واحدة، وهي خلية يجري نسخها تكرارا، أولا لتشكيل الانسجة بعمل طبقات

من نمط معين، ثم تنمو هذه الانسجة الى أعضاء (organs) • وبهذه الطريقة يقوم الجنين باعادة تمثيل المراحل النشوئية للتطور التي حصلت قبل مئـات الملايين من السنين• وفي النهاية يبتني الحيوان التام البنية بكل صفاته الفردية من ملايين الملايين من الخلايا تعمل معا كوحدة واحدة • وقد قدر أن عدد الخلايا في جسم الانسان البالغ يقع بحدود عشرة تربليونات (أي عشرة مليون مليون في الحساب الامريكي، أو واحد متبوعا باثني عشر صفرا، وهو خلاف التربليون الانكليزي المتألف من واحد متبوعا بثمانية عشر صفرا)، وجميع هذه تشتق في النهاية من البويضة المخصبة الواحدة • ربما يبدو هذا الرقم كبيرا جدا، ولكنه ينشأ من فقط (٤١) جيلا من انقسام الخلية•

ان التباين أو التفاضل المتعدد الخلايا يعني زيادة كبرى في عدد الجينات (genes) لتفصح ليس فقط عن وظيفة خلية مفردة واحدة ، وانما عن وظيفة المتعضية برمتها • وتنشأ وظائف الحيوانات الاعلى من تفاضل الخلايا ، أي الخلايا المتخصصة لتوليد مختلف انواع الانسجة والاعضاء والعظام والشعر• ونظرا للطريقة التي نشأت بها التوالي من التكتل المنتظم لنسل خلية مفردة، فان كل خلية في الجسم تضم العدد التام من الجينـات والصبغوسومـات (chromosomes) للحيوان الكامل بأجمعه • وهي تختلف من حيث انه لا تظهر الجينات كلها ، انما يجري استخدام فقط تلك الخاصة بانتاج البروتينـات الملائمة لوظيفة الخلية المعينة ، وتحجب جميع المواد الجينية الاخرى في الخلية المعنية من نسخ معلوماتها بواسطة بروتينات أساسيـة تسمى بالهستونـات (histones) التي تمتزج بالجينة (gene) وتمنع استنساخها • وهكذا تمكنـت الخلايا اليوكاريوتية من انجاز وتنسيق الوظائف المختلفة من نفس الخليـة اساسا واستطاعت التقدم من المرحلة الاحادية الخلية الى أشكال من الحياة أكثر تعقيدا•

استغرق التقدم من مستوى النسيج في تطور اللاحشويات الىحيوانات ذوات أعضاء فترة من الزمن قدرها حوالي مائة وخمسين (١٥٠) مليونا من السنين ، لكن عندما تحقق الاقتحام كانت النتيجـة تفجرية • كان الصنف الجديد من نظام النسيج للتفاعل مع البيئة أكثر مرونة من اسلافـه الخـاملة نسبيا، وانتشر هذا الصنف من الحياة بسرعة في جميع انحاء العالم وساده• كانت هذه الحيوانات من المفصليات (arthropods) والرخويـات (mollusks) وغيرها ، وقد طورت هياكل أو قشور خارجية (exoskeletons) من مواد قرنية أو اقياض متفلزة (mineralised shells) لوقاية أعضائهـا وأنسجتها الطرية ، ولكنها بقيت في اعماقها البحرية الواقية ، وكانت اليابسة لا تزال مقحلة•

وفيما كانت اليوكاريوت تواصل تقدمهـا بدأت احدى أعظم السلاسل الجبلية في تاريخ الارض ، وهي سلسلة جبال الابالاجيـان الكالدونيـان (Appalachian-Caledonian) بالتكون • وبين ما قبل الف ومائة (١١٠٠)مليون سنة وسبعمائة وخمسين (٧٥٠) مليون سنة كانت فترات طويلة من الترسب قد رسخت الارصفة على هوامش امريكا الشماليـة واوربا ، لكن البحر العظيم العتيق الذي فصل الكتلتين اليابستين انكمش تحت تأثير قوى شديدة في باطن الارض التي دفعت القارتين نحو بعضهما ، وعندما اصطدمتا في النهاية تعوجت الارصفة الرسوبية المحصورة بينهما وتفتّت وتطورت مندفعة الىأعلى في قمم شاهقة • وبفعل الحرارة والضغط تحول الحجر الجيري الى رخام، والسجيل الى الواح اردوازية وشستية ، والاحجار الرملية الى كوارتزيت، وكونت التداخلات الصهارية كتلا من الغرانيت • وبينما تحاتت جبال خمس أو ست احقاب أعتق من جبال الابالاجيان الكالدونيان وامحت من الوجود، بقيت سلسلة جبال الابالاجيان في شرق امريكا الشمالية وسلسلة جبـال الكالدونيان في سكوتلندة ، بالرغم من تحاتها وتآكلها بفعل الماء المتواصل،

قائمة اليوم بين أقدم الجبال على الارض .

انتهى الردح الاخير من الدهر البروتيروزوئي ، الذي بدأ دافئا ورطبا ، باردا وجافا فيما امتد التجلد أو التثلج (glaciabion) فوق شرق كندا ودخلت الارض في عصر جليدي آخر . انما مع بداية الحقبة الكمبرية أخذ المناخ يعتدل ويلطف . كانت درجة الحرارة الآن تقع في حوالي أربعا وثلاثين درجة (٣٤°) مئوية ، وربما كان الاوكسجين الجوي قد ارتفعت كميته عدة نسب مئوية فوق نقطة باستور ، وبدأت احياء من الثلاثيات الفصوص الشبيهة بالسرطان، الحدوي، والعضديات الارجل اللامفصلية (inarticulate brachiopods)، والرخويات البدائية (primitive mollusks)، والشوكيات الجلد (echinodermates) اسلاف السمك النجمي (starfish) ، والحلقيات (annelids) من قبيل الديدان الشدفية (segmented worms)، والمفصليات (arthropods) كالحرائش (أم ٤٤ (centipedes) بدأت تزحف في قيعان البحار .

تلت الحقبة الكمبرية، التي دامت فيما قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة الى ما قبل خمسمائة (٥٠٠) مليون سنة ، الحقب الاردوفيشية (ordovician) وصحبها اتساع تشعبي كبير في اللافقريات الى أنواع وأجناس وفصائل جديدة ومختلفة . كان هذا عصر الحيوانات البحرية ذوات الهياكل والاقياض أو القشور المتفلزة ، والمرجان والسمك النجمي، والنجوم الهشة (brittle stars) ، والزنبقيات (crinoids)، التي استوطنت قيعان البحار الضحلة، وظهرت الرأسية الارجل (cephalopods)، كبعض القواقع والصدفيات المستقيمة والمنحنية والمتحوية ، الى الوجود ، ومن بينها ايضا النواتي (nautilus) الكثيرة الشبه بما هي عليه اليوم وهي ضوار رهيبة تجوب في أعماق البحار .

ومع حلول الحقبة الاردوفيشية قبل خمسمائة مليون سنة خلت، ومع البحار الضحلة تغطي مناطق واسعة من العالم ، بدأت النباتات البسيطة تكيف نفسها للحياة على هوامش البر اليابس • كانت هذه حالة جديدة ارتغمت فيها الخلائق الى تنمية مداعم بنيوية تعينها على مقاومةالجاذبية وجهاز مسلكي أو وعائي (vascular system) لحمل سوائلها بالاتجاه العلوي الى أجزائها المكشوفة ، ثم في حوالي ما قبل اربعمائة وخمسين (٤٥٠) مليون سنة ظهر في المياه العذبة ما هو معروف اليوم باسم كولورادو (Colorado) ، وهو حيوان ربما كان بالاصل سمك عديم الفك• لكن أحافيره نادرة ومتشظية لدرجة ان شكل الحيوان الحقيقي غير معروف • وأحافيرهموجودة فيالاحجار الرملية في هاردينغ (Harding) كألواح مفككة ومنكسرة من البنية العظيمة ولكنها تدل على الفصيلة المفقودة ، وهي فصيلة الحبليات ذوات الفقرات ، (chordate with vertebra) ، أسلافنا القدماء•

بما ان معظم السجلات أو الآثار الاحفورية مستمدة من أصل بحري، فان قصة التطور في المياه العذبة والبر اليابس أكثر صعوبة للتجميع والترتيب• انما على ما يظهر حصل الاستيطان في القارات أثناء الحقبة السليورية (Silurian) فيما قبل اربعمائة وعشرين (٤٢٠) مليون سنة الى ثلاثمائة وخمسة وتسعين (٣٩٥) مليون سنة خلت، والحقبة الديفونية (Devonian) في ما قبل ثلاثمائة وخمسة وتسعين (٣٩٥) مليون سنة الى ما قبل ثلاثمائة وخمسة وأربعين (٣٤٥) مليون سنة خلت• ربما بدأ هذا الاستيطان بالنباتات البسيطة وتبعتها الاحياء العنكبوتية (arachnids)، والعقارب، والالفيات الارجل millipedes • كان شمال امريكا منخفضا ومسطحا في هذا الزمن ، وذلك باستثناء الجبال والبراكين في شرقي الولايات المتحدة وكندا ، وكانت اوربا جبلية وذات أحواض قاحلة• وقد كان في حوالي ما قبل ثلاثمائة وسبعين

(٣٧٠) مليون سنة خلت قد قام أحد البرمائيين من اسلاف جميع الفقريات البرية، بما فيها الانسان نفسه، بالزحف من موطنه في المياه العذبة الى حافة ضفة نهرية ووجد نفسه انه كان في غرينلندة ، أو على الاقل هناك وجدت بقاياه الاحفورية بعد ثلاثمائة وسبعين مليون سنة من انقراضه.

أدى استيطان النباتات في البر اليابس الى حلول الحقبة الكربونية (carboniferous) التي دامت من ما قبل ثلاثمائة وخمسين (٣٥٠) مليون سنة الى مائتين وسبعين (٢٧٠) مليون سنة مضت . نمت أشجار ضخمة بعضها تسامق الى ارتفاع مائة (١٠٠) قدم في الغابات المستنقعية في جميع انحاء العديد من القارات ، كما ضمت هذه المستنقعات ايضا انساب نبات الامسوخ أو ذيل الفرس (horsetails)، والطحالب الرواصن (club mosses) والاشجار السرخسية (tree ferns) الموجودة اليوم، وكذلك عاريات البذور الصنوبرية البدائية (primitive gymnosperms of conifers) . كانت الحشرات متنوعة ومختلفة وشملت التنين المجنح العملاق (giant dagonfly) الذي يبلغ طول جناحيه ثماني وعشرين (٢٨) بوصة، وحرائش (millipedes) بطول خمسة (٥) أقدام، والصراصير والعقارب الضخمة. أما الاحياء الثلاثيات الفصوص فكانت الآن تشارف نهاية تاريخها الطويل ، وبين الفقريات كانت ايضا الكواسج الضخمة. كما كانت البرمائية ايضا موجودة وهي اسلاف الفقريات الهوائية التنفس المنحدرة من الحقبة الديفونية ، وكذلك الجوفاء الجماجم (synapsids) ، وهذه هي أقدم الزواحف (reptiles) المعروفة.

في أثناء الحقبة البرمية (Permian) التي تلت، أي ما قبل مائتين وثمانين (٢٨٠) مليون سنة الى مائتين وخمسة وعشرين (٢٢٥) مليون سنة ، كانت الجوفاء الجماجم ضارية مفترسة في الاصل وأصبحت سائدة بكثرتها. ومن

أنساب هذه الفصيلة هي الثيرابسين (therapsids) وهي حيوانات ضئيلة وتافهة ولكنها من الضواري آكلة اللحوم النشيطة . وخلال الحقبة الترياسية (triassic) ، أي ما قبل مائتين وعشرين (٢٢٠) مليون سنة الى مائة وثمانين (١٨٠) مليون سنة نمت هذه الخلائق الصغيرة الاحجام غددا افرازية خاصة لتغذية صغارها بالحليب وأصبحت بذلك الثدييات الاولى.

أما القارات ، التي كانت تسف غلاف الارض ببطء كأكلاك أو طوافات هائلة من الغرانيت، فانها كانت قد التحمت خلال المائة مليون سنة السابقة أوحواليهالتصبحقارة واحدة عظمى تسمى بالپانجيا (Pangaea) ، لكن فياثناء الحقبة الثرياسية كانت الاجزاء التيألفت شرقي امريكا الشمالية ونيوزيلندة تشهد اندلاعات هائلة من الانفجارات البركانية ، وازورت افريقيا وامريكا الجنوبية كوحدة وانفصلت من امريكا الشمالية مقسمة بانجيا بذلك الى لوراسيا (Laurasia) في الشمال وغوندوانالاند (Gondwanaland) فيالجنوب، ثم انشطرت الهند وقارة القطب الجنوبي من افريقيا.

وعند حلول الحقبة الترياسية التي تلتالحقبةالجوراسية(Jurassic)،كانتالاشجار العظيمة في المستنقعات الفحمية قد تراجعت امام أشجار الجنكية (ginkgos) والسيكاسية (cycads) والصنوبرية (conifers) . ملأت الدينوصورات (Dinosacrs) تقريبا جميع انحاء الحياة البرية، معالعديدمنهابأحجامعملاقة، ثم تكون أخدود او شرخ عميق بينامريكا الشمالية واوربا كان في البداية ضيقا صغيرا مثل البحر الاحمر أو خليج كاليفورنيا ، ولكنه كان بداية المحيط الاطلنطي، وارتفعت جبال امتدت من آلاسكا الى المكسيكبينما كانت الاندلاعات البركانية قائمة في الشمال الشرقي.

أما الحقبة الطباشيرية (Cretaceous)فانها شهدتظهور النباتاتالمزهرة التي

كان لتكاثرها بتطاير بذورها في الهواء نتائج تفجيرية أدت الى انتشارها بسرعة في جميع انحاء العالم، وتبع النحل (Bees) في أعقابها، بينما كانت الثدييات ، التي عاشت تحت رحمة الدينوصور لفترة مائة وخمسين مليون سنة، لا تزال منزوية في الهوامش الجانبية فيما تكردمت تلك العمالقة في الانقراض.

ومع تدهور الدينوصورونواله قبل سبعة مليون سنة خلت، انتفضت الثدييات لتصبح الحيوانات السائدة في الارض ، وجاءت الطاقة المركزة الكامنة في بذور النباتات المزهرة لتتيح حصول التآيض السريع للطيران وأفضت الى نشوء الطيور. وفي غرب الولايات المتحدة كانت جبال اللاراميد (Laramide) ، وهي من سلاسل التكوينات الجبلية التي ابتدأت في أواخر الحقبة الديفونية (Devonian)، قد أخذت ترتفع الى أقصاها الذروي بفعل الاندساسات الصخرية الباطنية التي دمجت الحزام الهامشي بالقشرة القارية.

قبل خمسة وستين مليون سنة كانت توجد حيوانات صغيرة تقطن الغابات لها هيئة وبنية السنجاب (squirrel)، لم تكن هذه قد بلغت بعد مرحلة التخصص في تسلق الاشجار ، ولكنها كانت بواكير المخلوقات العليا او المقدمات (primates) ، وهي قبيلة (order) منفصلة من الثدييات (mammalia) .وفي أثناء الحقب الاوليغوسينية (Oligocene) ما قبل اربعين (٤٠) مليون وخمسة وعشرين (٢٥) مليون سنة خلت تفطرت الارض عن جبال الالب والهيمالايا ومعها نشأت النمور البارزة الانياب (Saber toothed tigers) لتفترس الثدييات الراعية وتعتاش عليها.

ثم جاءت الحقبة الميوسينية (Miocene) التي امتدت من ما قبل خمسة وعشرين (٢٥) مليون سنة الى ما قبل عشرة (١٠) ملايين سنة مضت وشهدت قيام

سلاسل جبال السيرا (Sierra) والروكيز (Rockies) • وباستثناء القوارض كانت جميع فصائل الثدييات المعروفة اليوم قد ظهرت الى الوجود • اشتملت الاحياء الحيوانية (fauna) على الغزلان والضباع (hyenas) والزرافات البدائية (giraffes) والبقريات (bovines) ، وبرزبينها بشكل ملحوظ كلب دعي (beardog) هائل الحجم باسم امفيسون (Amphicyon)، وانتشرت حيوانات المستودون (Mastodons) وهي اشباه الفيل بالشكل والحجم بائدة، الى المراعي العشبية في امريكا الشمالية لتنضم الى الخيول والجمال الناشئة فيما ازدادت حياة الرعي وطغت على آكلة الاغصان والاوراق•

عندما حلت الحقب البلوسينية (Pliocene) قبل عشرة (١٠) ملايين سنة خلت كانت المنطقة ما بين المدارين (tropics) باردة مصقعة وكانت الاراضي المعشوشبة واسعة الانتشار ، وفي هذا العصر بلغت الثدييات أوج أحجامها وكثرتها• وفي حوالي منتصف هذا الحقب، ما بين اربعة الى خمسة ملايين سنة خلت، ظهر كاسح (scavenger) في سهول افريقيا الشرقية لينافس الضباع هناك ما يمكنه اختطافه من فرائس الضواري الاشد منه قوة بكثير• كان هذا من المخلوقات العليا (primates) العيارة التي بقيت ملازمة التربة فيما تمكنت أخرى من تطوير طريقة حياتية فوق الاشجار • كان هذا ادردا أو عديم الاسنان وتنقصه سرعة اللواحم او آكلة اللحوم ، لكن دهاءه وسلوكه الجماعي منحاه ميزة أتاحت له الاستمرار في البقاء•

وأخيرا بدأ هذا المخلوق ينحت الاحجار لاستخدامها كأسلحة وأدوات، وتدل اسنانه على انه نشأ على غذاء من الجذريات (roots) والفواكه (fruit) والنقل (nuts) وغيرها من المأكولات التي استطاع الحصول عليها• لكن عسر هضمه ، فقد تعذر عليه اكل الفواكه الخضراء وبعض الاغذية الفجة

كما كان يفعل قرد البابون (baboon)، حمله الى اللجوء الى استعمال النـار لتنضيج الاطعمة التي تعذر عليه آكلها نية بغية توسيع موارد الغذاء المتوفرةله.

وهذا بالطبع كان الانسان نفسه ، نشأ كنوع منفصل في زمن ما قبل حوالي أربعة الى خمسة (٤ـ٥) ملايين سنة خلت. كانت الحياة قد تواجدت منذ أكثر من ثلاثة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت، ولفترة الفين وسبعمائة (٢٧٠٠) مليون سنة ، أو ثمانين بالمائة (٨٠٪) من ذلك الزمن ، بقيت على مستوى المتعضيات الاحادية الخلية ، ولم تظهر الثدييات الىالوجود الاخلال الاثنين بالمائة (٢٪) الاخيرة من فترة تواجد الحيـاة على الارض. وقد مضى (٩ر٩٩٪) من تواجد الحياة منذ ظهورها في مجموعة شجرة التين وتشكيلة انفرواخت في جنوب افريقيا ، ولم يظهر الانسان الى الوجود الا في الواحد بالالف (١ر٠٪) الاخير من عمر الحياة على الارض.

فلماذا استغرق الانسان كل هذه المدة ليظهر؟

مـا الذي حصل خلال أكثر من الف مليون سنة مضت ، حين كانت حرارة المناخ قد أخذت تبرد ، والبحار تتأكسد ، وبدأ الاوكسجين يتراكم في الجو ، وكان من شأنه أن يؤدي الى اختلاق شكل حياتي خلوي متقدم للغاية على البروكاريوت؟ ولماذا أدى اختلاق تعـدد الخلايـا الى كل هذا التطور الانفجاري؟ ولماذا انحصرت الحياة في البحار لفترة ما يقرب من تسعين بالمائة (٩٠٪) من وجودها ، ولم تغامر في الامتداد الى اليابسة الا منذ بضع مئاتمن ملايين السنين فقط؟

ان وعينا واحساسنا بالفعل الطليق منفصلان عن خواص المواد الارضية بحيث ان محاولة الربط بينها واجتسار الفجوة العظيمة الفاصلة بين الطبيعتين تثير المخيلة وتقتدح القريحة . لكننا في محاولتنا هذه نقف ازاء منتوجات عدد

هائل من العمليات والتفاعلات الانتقــائية التي دفعت النشوء التطوري عبر ما يقرب من اربعة آلاف (٤٠٠٠) مليون سنة . وعندما نتأمل نظام تركيبتنــا البيولوجية نجد ان الطريق الى تواجدنــا لم يكن سهلا ممهــدا ، انما نشأ بمراحل أشبه بطبقات هرم مدرج، وفي قاعدة بنيتنا الخلوية تكمن مرحلة أخرى من التطور استنبطت مستواها الخاص بها من التقدم والتعقيد.

الفصل السادس
الطبيعة الخلوية للحياة

لقد عاش الانسان كنوع طوال فترة وجوده، ما عدا لحظاتها الاخيرة، مقيدا ضمن نطاق حدود أحاسيسه • انقبض من مدرج الاحجام وتقلص نحو الصغير الى ما دون الادراك، واتسع في الكبر حتى شمل الآفاق • فقد تواجد العالم البيولوجي في تنوع هائل، وكل نوع فسخ وجدد خاصيته التي كبرت في الحجم من الولادة الى البلوغ، وبدا ان ضمن أي نوع، لم يكن يوجد مكون ملموس اصغر من المتعضية بذاتها•

ان بعض المخلوقات ، مثل الحشرات الصغيرة ، بدت فعلا تظهر فجأة كأنما كانت قد عبرت من بعد آخر• وبدون أي منشأ ملحوظ كان التولد التلقائي بالنسبة الى الدقيق المتملص اسهل للتصور من مستوى كامل من الوجود دون المرئي في قطرة من الماء• تصور، اذاً، نشوة الاحساس بالاكتشاف في احراز السبق في الانتقال من محددات عالمنا الى عالم آخر، الى انحاء مأهولة بمخلوقات بشعة وأجنبية • هكذا كانت خبرة انطون فان ليفنهوك (Anton Van Leeuwenhoek)•

كان ليفنهوك بزازا في هولندة لا يملك أي تعليم أصولي انما شغفا شديدا بهواية سحج وصقل العدسات • تم اختراع المجهر (microscope) في عام ١٥٩٠ من قبل الاخوين الهولنديين فرنسيس وزكري يانسن (Francis and Zachary Janssen) عندما وضعا عدسة في كل من طرفي انبوبة وحصلا على تكبير بقدر عشرة أضعاف • لكن ذلك كان ابتكارا فجا قلما أرقى من الزجاجة المكبرة• أما ليفنهوك فقد صنع عدسات من نوعية راقية ذوات بعد بؤري قصير جدا وقوة تكبيرية عالية تبلغ من خمسين (٥٠) الى مائتين

وخمس وسبعين (٢٧٥) مرة، وقدرة توضيحية تفوق المجهر المركب الاول الى حد بعيد. كان يصقل عدسات من احجام مختلفة عديدة ، بعضها لا اكبر من رأس دبوس ، ويثبتها بين لوحتين نحاسيتين رقيقتين، وفيما امعن ليفنهوك النظر من خلال عدساته في عينات من ماء المطر وماء البرك وكشيط من أسنانه، رأى عالما دقيقا غريبا يعج مكتظا بالحياة .

ولأول مرة في التاريخ دخلت «الحوينات الدقيقة جدا»، كما أسماها هو عند وصفه للبكتيريا والاوليات الاحادية الخلية ، الى عالم ادراكنا الواعي. كان ليفنهوك رجلا شديد الحب للاستطلاع يملك قوى بالغة للملاحظة الدقيقة الممعنة، وقد اكتشف عالما جديدا انطلق يتحراه في كل فرصة سنحت له. رأى اشياء لم تُرَ قبلا قط، ، وأخذ يشرح، في رسائل مطولة مسهبة الى الجمعية الملكية بلندن، ان السوس في الهري أو الانبار لم تكن تتولد من الحنطة بل كانت دبيبا تتولد من بويضات دقيقة ، وان البراغيث تتولد بطريقة الحشرات المضادة ولم تنبت من الرمل او التراب، وان السمك الصدفي كان يتكاثر بطريقة البيض ولم يتولد عن الرمل ، وان بلح البحر (mussels) كانت أحيانا تأكلها حويناته الدقيقة . عكف على دراسة الدورة الدموية في الاوعية الشعرية في ذيل سمكة الجري، وفي القدم الوترية للضفدعة واذن الارنب، وكان يرسم في رسائله ويوضح الكريات الحمراء لشتى الحيوانات. وفي عام ١٦٧٧ وصف ولاول مره الحيينات المنوية (spermatozoa) من الحشرات والكلاب والانسان ، وظل طوال خمسين عاما يتحرى ويصف للعالم الكون الفتان الساحر الذي اكتشفه في الجانب الآخر من عدساته.

وفيما كان ليفنهوك عاكفا على دراسة عالمه الدقيق ، لاحظ روبرت هوك (Robert Hooke) بواسطة مجهر خشن اولي ذي عدسات من الزجاج المصهور، المظهر المثقب في شرائح رقيقة من الفلين وأطلق على تلك الثقوب اسم الخلايا

(cells) • لكن الذي شاهده كان جدران الخلايا، ولمدة مائة وخمسين (١٥٠) عاما ظل الاعتقاد سائدا بأن هذه الملامح تؤلف البنية الاساسية للنباتات الى أن أدرك الخبير النباتي الالماني هوغو موهل (Hugo Mohl) ان أساس الحياة لم يكن جدارالخلية الذي رآه هوك، وانما المادة الشفافة شبه السائلة الموجودة في باطن الخلية ،وأطلق على هــذه المادة اسم البروتوبلازمة (protoplasm) او الجبلة الاولية.

لكن خلايا الحيوان أصغر حجما لعدم احتوائها على جدران الخلايا كما في النبات وباستثناء بعض كالبيض والحيينات المنوية وكريات الدم، كانت اصعب للرؤية بواسطة المجاهر الاولية ، وتعذر اجراء أية دراسات تفصيليــة دقيقة للخلايا الحيوانية الى أن قام ليستر (Lister) باختراع المجهر الماصح أو اللالوني في عام ١٨٢٧. وبعد اربع سنــوات من ذلك تمكن روبرت براون (Robert Brown) من لمح هنة او هباءة قاتمة في جبلة خلايا النبات واكتشف النواة (nucleus). ثم أدرك ماثياس شلايدن (Mathias Schleiden) في المانيا ان النواة لها علاقة بانقسام الخلية واكتشف ان هذه هي الطريقة التي تتأتى بها الخلايا من الخلايا الموجودة قبلا، أي ان الخلايا تتكاثر بالانقسام.

وبعد سنة ، عقب محــادثة أثناء عشاء مع شلايدن ادرك خبير التشريح الالماني ثيودور شفان (Theodor Schwann) ان خلايا الحيوان التي كان عاكفا على دراستها كانت تسلك مثل خلايا النبــات لدى شلايدن، فخطــر له ان الخلايا هي مثل المتعضيات تقوم بانجاز جميع الانشطة اللازمة التي تقوم بها الميكروبات الاحادية الخلية ، وانها في الحيوانات والنباتات منظمة في وحدة جماعية متسقة متناغمة لتشكل متعضية كاملة على مستوى أعلى من الوجود. ثم على حين غرة وفي واحدة من اوسع التعميمات الشاملة في تاريخ العلوم

رأى شفان قاسما مشتركا أعظما لجميع الكائنات الحية وهو ان النباتات والحيوانات بأجمعها كانت مبنية من نفس الوحدة الاساسية وهذه هي الخلية. قام شفان بنشر افكاره في عام ١٨٣٩ في ورقة بعنوان «حول تماثل البنية والنمو في النباتات والحيوانات» وبذلك تم اقرار وتثبيت النظرية الخلوية للحياة.



الشكل ٦/أ ـ رسومات لقطعة من الفلين من كتاب هوك: « التصوير المجهري micrographia ». وهنا تشير A الى مقطع مستعرض و B الى مقطع مستطيل.

ان الخلية هي أصغر منظومة بيولوجية مستقلة قائمة بحد ذاتها، وهي أساس الحياة ، وجميع الكائنات الحية تتألف أما من خلية مفردة أو من توليفة من الخلايا، وبالنتيجة فان الخلية هي ماكنة بيوكيميائية قادرة على التناسخ الذاتي. وعند توفر مصدر للطاقة والمواد الخام الضرورية بوسع الخلية أن تشيد مكوناتها الخاصة وأن تقوم بنسخ ومكاثرة تركيبتها برمتها. وعندالتأمل في أمر ان عدد العناصر أو المقومات الفردية (constituents) فيها يمكن أن يمتد الى عشرات الآلاف كلها معبأة في كرة متناهية في الصغر تحتاج الى التكبير عدة مئات من المرات لجعلها مرئية، فاننا سنجد انها عبوة عجيبة للغاية حقا.

عند النظر اليها من خلال مجهر ضوئي تقليدي تبدو جميع الخلايا بشكل كبسولات أو سنفات متألفة من مواد شفافة ومتجانسة الى حد كبير. والبنى الوحيدة التي يمكن تمييزها هي الجسيمات المتلونة كالجبيلة اليخضورية (chloroplast) في خلايا النبات التي تتضمن اليخضور (chlorophyll) ، أو مواد مصطبغة كما في الخلايا الحيوانية . وللتمكن من دراسة الخلايا يتحتم على الخبير المجهري استعمال صبغات كيماوية مختلفة لتلوين أو تفتيح ملامح منتقاة في باطن الخلية . وظلت هذه الطريقة الوحيدة لدراسة تركيبة الخلية وانشطتها طوال أكثر من قرن واحد.

وحين بدأ الخبراء البيولوجيون في القرن التاسع عشر بمعاينة العالم المجهري وجدوه مكتظا بشتى انواع المتعضيات الاحادية الخلية تقف أساليبهم التصنيفية ازائها عاجزة . كانت الكائنات الاولية (Protozoa) وهي حيوينات احادية الخلية ذوات خلايا كبيرة ومعقدة نسبيا . فقد كان بينها البكتيريا، وهي أصغر حجما وأبسط تركيبة ، كما كان بينها الطحالب والفطريات . كانت تنويعة غريبة من المخلوقات متواجدة على مستوى يتغوش فيه التمييز

بين الحيوان والنبات منها. لكن بين جميع المتعضيات الاحادية الخلية ، كانت البكتيريا والطحالب الخضرزرقاوية فقط لا تتضمن نواة متضحة وبالنتيجة جرى تصنيفها معا في رتبة منفصلة عرفت فيما بعد بالبروكاريوت ، بينما تضمنت خلايا جميع النباتات والحيوانات الاخرى نوى مغلفة في أغشية وأسميت هذه بالخلايا اليوكاريوتية.

مر المجهر الضوئي خلال العديد من التحويرات والتجديدات عبر سنوات القرن بهدف تحسين قدرته، وظهرت مجاهر اختصاصية منها المجهر ذو التباين الطوري، والمجهر الاستدلالي، والاستقطابي، وذو المدى القاتم، لكن الاوصاف التفصيلية بقيت على الدوام بعيدة عن متناول الرؤية بشكل محزن مؤلم . وبما ان الاتضاح يتوقف على طول الموجة الضوئية فقد كان هذا مقتصرا على ما يقرب من (٢٤ر٠) من الميكروميتر (micrometre = ٠٠١ر٠ أو واحد بالالف من المليمتر) ولما كان طول قطر البروكاريوت يتراوح ما بين (٣ر٠) الى (٠ر٢) ميكرومتر، والخلايا اليوكاريوتية بتركيبتها الاكثر تعقيدا أكبر من ذلك بنحو عشر مرات، فقد كان بوسع التحليل الايضاحي في تلك المجاهر أن يبين الخلية انما لم يكن من الدقة بما يستطيع بيان التفاصيل البنيوية .

ثم في عام ١٩٢٤ طرح لويس دبروغلي (Louis de Broglie) وجوب انتقال الالكترونات (electrons) في موجات خاصة بها كالضوء مع كون طول الموجة متناسبا عكسيا مع جذر الفلطية، ونظريا بامكان الحزم الالكترونية (electron beams) أن تتألف من اطوال موجية اقصر بكثير مما في الضوء، وعليه فان المجهر العامل بالالكترونات سيكون أقوى وأوضح بكثير من المجهر العامل بالضوء، وان حزمة الكترونية بقوةمائة (١٠٠) كيلوفولط تعطي ايضاحا

تفصيليا أقوى منه بالمجهر الضوئي بنحو مائة واربعين (١٤٠) الف مرة• وعلى أساس هذه النظرية تم بناء أول مجهر الكتروني في المانيا في عـام ١٩٣٢ مجهزا بعدسات مغنطية واتنجت شركة سيمنس هالسكة نموذجا تجاريا منه في عام ١٩٣٨•

جاء المجهر الالكتروني ليفجر الاوضاع ويحدث انقلابا ثوريا في معرفة السبل التي تنتظم بها الخلايا، وأوضح ان الفارق بين النوعين من الخلايـا كان أعظم من مجرد وجود أو انعدام النواة ، وكان اختلافا بالغا في البنية دون الخلوية أو الفرع خلوية (subcellutar) • وبعد الاطـلاع على مدى تعقيد البنية والكيمياء في الخلايا اليوكاريوتية ، غدا واضحا ان الفـارق بين الخلايا البروكاريوتية والخلايا اليوكاريوتية كان عظيما لدرجة لابد أن نشأة وتطور هذه الاخيرة كان بمثابة خطوة كبرى في عملية النشوء•

كلا نوعي الخلايا مغلف بأغشية مماثلة في بروفيلها (profile)أو مظهرها الجانبي وتنقسم تحت التكبير العالي الى بنى ثلاثية الطبقات تبلغ سماكتها نحو (٠٠٨ر٠) من الميكرومتر • لا توجد وحدات غشائية التغليف في الخلايا البروكاريوتية ، وتظهر المادة النووية والجبيلـة الخلويـة أو السيتوبلازمة (cytoplasm) متسقتين وغير منفصلتين، وتتألف الوحدات البنيوية الرئيسة من جسيمات (particles) دون خلوية (subcellular) يبلغ قطرها حوالي (٠١ر٠) من الميكرومتر تعرف باسم الريبوسوم (ribosomes) يتم فيها تمثيل أو تصنيع البروتينات • (والريبوسومة سكرة خماسية مشتقـة من حوامض النوويك وصيغتها الكيميائية $C_5H_{10}O_5$•

أما الخلية اليوكاريوتية ، من جهة أخرى، كما انكشفت تحت المجهر الالكتروني، فانها ليست سيتوبلازمة متجانسة (homogeneous) ، وانمامتاهة

من المقاطع تفصلها الاغشية ، وهذه المنظومة من الاغشية ناشئة (labyrinth) عن تلافيف الغشاء الخلوي الذي يجعل جميع الاغشية متواصلة ببعضها ، ونواة الخلية محاطة بالغشاء تتضمن حوامض النوويك والبروتينات ، كما توجد في مناطق أخرى من الخلية بنى منتظمة منفصلة تسمى بالاورغانيل (organelles) التي تلعب ادوارا نوعية في الوظائف الخلوية ، ومنها الريبوسومات التي تقوم بتمثيل البروتينات ، والميتوكوندريا كمصادر طاقة الخلية حيث أكسدة حامض البيروفيك (pyruvic acid) الى ثاني اوكسيد الكربون والماء كطاقة تستخدمها بقية الخلية، ويوجد فيها ايضا ما يسمى بأجسام غولجي Golgi bodies = وهي بنى في جبيلة او سيتوبلازمة الخلية تشارك في عملية تصنيع الغذاء في الخلية)، والليسومات (Lysosomes: جسيمات في السيتوبلازمة تتضمن عددا من الانزيمات الهضمية لها وظائف تحليلية)، وغيرها.

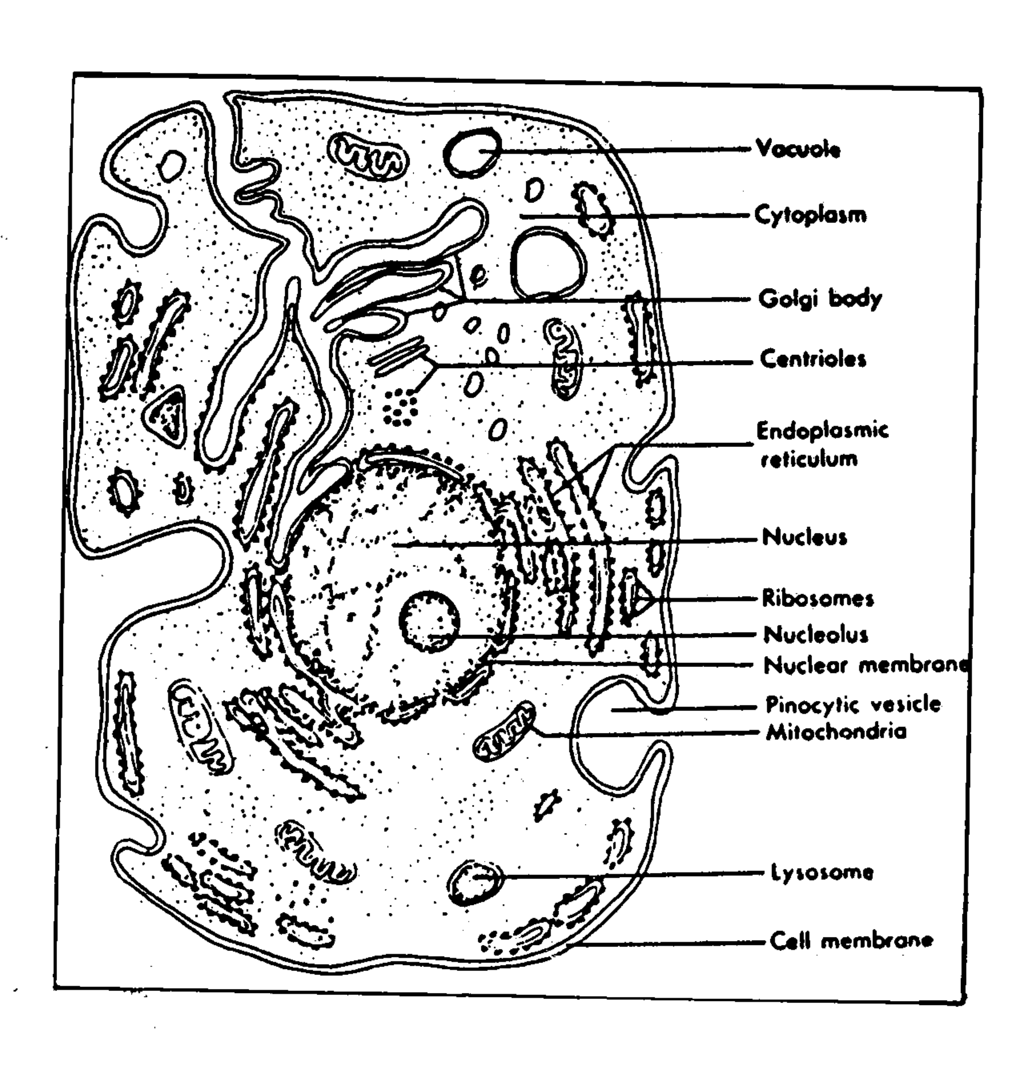


الشكل ٢/٦ ـ مقطع عرضي للجزء الرئيس لخلية ثديية مرئي من خلال مجهر الكتروني يوضح النواة وغشاء النواة ومنطقة النواة . كما تظهر في السيتوبلازمة الخويصلات والميتوكوندريا . والخط الافقي في اسفل الزاوية اليمنى يمثل الف نانومتر (١٠٠٠ nm) ، ويبلغ هنا التكبير (٧٥٠٠) ضعف.

ان النواة (nucleus) هي موقع التخزين للطبقة (bluepoint) لتناسخ أو تكاثـرة كل المتعضيـة برمتهـا، تأتي هـذه في الخليـة اليوكاريـوتية كأورغانيلة متميزة واضحة ، بينما في الخلية البروكاريوتية ينقصها الغشاء النووي وتطفو بطلاقة في السيتوبلازمة ، والمعلومات الوراثية للخلية مخزونة في التركيبة الكيميائية ذات بوليمر خطي طويل يسمى بالحامض الخلـوي الصبغي دنأ (Deoxyribonucleic DNA: acid) •

يؤلف حامض دنأ الجزيئة المعلوماتية للمنظومة الحية ، وتقوم بنيتـه المدسترة (coded structure) بتعيين سياق الحوامض الامينية في البروتينات، انما البروتينات هي التي تخلق المتعضية ، وهي بمثابة العمال الذين يجعلون كل ذلك ممكنا • فالبروتينات هي التي تقوم بتكوين البنية ، ونقل المواد، وتنظيم العمليات ، وفوق كل شيء، هي الانزيمات التي تقوم بتحفيز جميع التفاعلات البيوكيميائية• ويترتب علىجميع الخلايا ، سواء كانت بروكاريوتية أم يوكاريوتية، على تمثيل البروتينات ، وهي مهمة يتم انجازها في جسيمات صغيرة دون خلوية تسمى بالريبوسومات•

يبلغ طول قطر الريبوسومة اليوكاريوتية حوالي (٠٢٥ر٠) من الميكرومتر ولها وزنجزيئي يبلغ اربعة ملايين(٠٠٠ ٠٠٠ ٤) فيالمتعضيات العليا، ومليونين وسبعمائة الف (٠٠٠ ٧٠٠ ٢) في البكتيريا[1]• وكل ريبوسومة تتألف من وحدتين فرعيتين (subuit) اثنتين ، يقع حجم احداهما تقريبا بضعف حجم الاخرى، تضم الوحدة الفرعية الاصغر جزيئة كبيرة من حامض الريبونوويك رنأ (RNA: ribonucleic acid)بينما تضم الوحدة الفرعية الاكبر جـزيئتين رنأ غير متساويتي الحجم• بالاضافة الى ذلك يوجد حوالي عشرين (٢٠) بروتينا مختلفا في الوحدة الفرعية الاصغر، وأربعين (٤٠) في الاكبر• وبقدر ما قد أمكن التثبت منه تتواجد البروتينات بجزيئة واحدة لكل منها•



الشكل ٣/٦ ـ رسم لخلية يوكاريوتية

والترتيب الوظيفي لمكونات الريبوسومة نوعية اختصاصية للغـاية . ويتجلى هذا الاطراد التنظيمي بحقيقة انه قد تمت بلورة بعض الريبوسومات، كما يمكن ايضا على سبيل المثال استحثاث ريبوسومات أجنة الطيور على التطور بمجرد تبريد الخلايا[٢].

وعلى عكس الريبوسومات لا تظهر الميتوكوندريا الا في خلايا اليوكاريوت. والميتوكوندريا هذه جسيمات سجقية الشكل يتراوح عرضها ما بين نصف الى ميكرومتر واحد (٥ر٠ـ٠ر١)، وطولها ما بين خمسة الى عشرة (٥ـ١٠) ميكرومترات، وهي محاطة من الخارج بغشاء كيسي (thylakoid) ومفصولة الى سلسلة من الحجرات بواسطة أغشية باطنية تسمى بالمسحيات الدهنيـة (christae) ، وعدد المسحيات الدهنية في الخلايا النباتية أقل منه في الخلايا الحيوانية ، ويتراوح من واحدة في الطحلبة الاحادية الخلية (microsterias) الى خمسمائـة الف (٠٠٠ ٥٠٠) فـي الاميبـة العملاقـة كاؤس كاؤس (chaos chaos) .

عند النظر الى الميتوكوندريا في خلية حيـة تبدو انها في حالة حركة مستديمة، وتشكل المراكز التنفسية للخليـة ، ويتم تآيض الكربوهيدرات والدهون ، والى حد أقل البروتينات في هذه الميتوكوندريا لتزويد الطاقة الى الخلية . وفي سلسلة من التفاعلات الكيميائية تحفزها الانزيمات تتم تجزئة المواد ذوات الطاقة الكيميائية الاعلى الى مركبات ذوات طاقة كيميائية أقل، ويستخدم فارق الطاقة لتمثيل جزيئة أتب العالية الطاقة ATP = ثلاثي فوسفات الادينوسين) ان الأتب هي المادة الكيميائية الغنية بالطاقة التي تقوم الميتوكوندريا بتوزيعها الى مواقع التمثيل المختلفة لتنشيط المركبـات لتحويلها الى بنى كيميائية أخرى.

في النباتات الخضراء تتألف الارغانيلة التي تعمـل على التقـاف ضوء الشمس من جسيمة معقدة بنيويا تسمى بالكلوروبلاستـة او اليخضـور (chloroplast)، ويتباين عدد اليخاضير في خلايا النباتات ، ففيبعض الطحالب مثل السبيروجيرا الشعيرية (spirogyra) يوجـد يخضـور مفرد واحد فقط، بينما قد يوجد ما بين ثلاثين الى أربعين (٣٠ــ٤٠) يخضورا في كل خلية في الجزء الاسفنجي من شرنقة العشب.

نشأت اورغانيلات أخرى في الخلايا اليوكاريوتية مع تزايـد اشكال الحياة في التعقيد . فعلى سبيل المثـال ان جهاز غولجي (Golgi apparatus) يتألف من منظومة من الاغشية تستخدم فيرزم أو تعبئة البروتينات لافرازها، مثل الانزيمات الهضمية . تتم مراكمة هذه البروتينات في جهاز غولجي ثم تضاف اليها الكربوهيدرات ، ويجري تغليف عدد كبير من الجزيئات فيالغشاء الواحد. بعد ذلك تنقل العبوة الى حافة الخلية حيث تسرح محتوياتها الى الخارج.

والليسوسومات جسيمات تقعبحواليحجم الميتوكوندريا انما بدون البنية البالغة التنظيم. وهذه الاورغانيلات مجلات (sacs)من الانزيمات الهضميـة التي يمكنها تفكيك بروتينات وحوامض نوويك كبرى، ولم يكتشف غرضها حتى مؤخرا ولكن ادراكه أماط اللثام عن تناهي تعقدية الخلية البيولوجية.

ان المكونات الجزيئية لجميع الكائنات الحية في حـالة تدفق دائم ، وتجري تجزئة واستعاضة المقومات باستـمرار ، وحتى البنى المتنـاهية في التنظيم كالميتوكوندريا لها وجود زائل. فعلى سبيل المثـال ان مدى عمر ميتوكوندريا الكبد يتراوح ما بين عشرة الى عشرين (١٠ــ٢٠) يوما. انمـا لم يتضح في الحال السبب المؤدي الى هذا الوضع.

لكن السبب يتعلق بتخزين المعلومات . فان بنى الجزيئات البوليمريةفي

الخلية والوحدات دون الخلوية ناتجة عن عدد هائل من تتف المعلومات ، ويتوجب أن تكون كل تضريسة في غاية الدقة لتكون محكمة الكفاءة . فالمنظومة المكلفة باصلاح العيوب التي تحصل ستتطلب منظومة معلوماتية من نفس الجسامة تقريبا . لذلك فانه من الابسط أن يتم تعويض البروتينة او الاورغانيلة الناقصة بأخرى جديدة التصنيع، وعليه متى ما تبدأ فعالية أحد المكونات الخلوية بالتعثر ، تقوم الليسوزومة بفصل ذلك الجزء في الحال ويجري تلقيم حطامه في فرن ميتوكوندريونة سليمة لتزويد الوقود الى عمليات التمثيل الاخرى[٣].

لليسوزومة وظيفة اضافية أخرى. فعندما تموت الخلية تنفجر مجلة الليسوزومة وتقوم الانزيمات المنطلقة بهضم البيوبوليمرات الخلوية وتعيدها الى وحداتها المونومرية ، وتمحي بذلك التنظيم الكيميائي الذي جعل الخلية كيانا بيولوجيا ، وتعيد اللبنات البنائية للاستخدام مرة أخرى.

جميع الخلايا مغلفة في بنية غشائية لها خواص فريدة لاحتواء المكونات الخلوية والعمل بمثابة حاجز ترشيحي الى البيئة الخارجية، ومن الخواص الشائعة للاغشية الخاوية هي طبيعتها البروتين دهنية، وبالنسبة للدهنيات تملك الفوسفودهنيات خواص تجعلها ملائمة خصيصا للغشاء.

عندما نشأت اليوكاريوت احتفظت بالبنية الخلوية للغشاء ووسعتها الى حد كبير، وعند معاينتها في مجهر الكتروني تظهر الخلية اليوكاريوتية كمحيار من المقاطع أو الاقسام تضم السيتوبلازمة والجسيمات دون الخلوية. تتوغل انغمادات الغشاء عميقا في الخلية وتتلوى منظومة الغشاء السيتوبلازمي الدقيقة التفاصيل خلال الخلية كتتمة لغشاء الخلية . وهذه المنظومة المعقدة للغشاء ، شبكية الجبلة الباطنية ، تعمل على أكثر من مجرد زيادة المساحة السطحية ، فهي الآن تعتبر جزءا مهما من الخلية لتصنيع المنتوجات الخلوية.

توجد بداخل البنية انزيمات تقوم بالتحكم في التفاعلات الواقعة في أجزاء ستراتيجية من الخلية• وشبكية الجبلة الباطنية تشكل تحويرا تكييفيا رئيسا للخلية اليوكاريوتية معدوما في خلايا البروكاريوت، وعلى ما يظهر انمرورها من خلال باطن الخلية يتيح بعض النقل المباشر لجزيئات وايونات مختلفة من قسم الى آخر في الخلية • وحتى الى خارج الخلية•

ويماثل تعقد الخلية اليوكاريوتية طريقتها في التكاثر المسماة بالتخيط أو الانقسام الفتيلي (mitosis) • ربما يبقى دنأ (DNA) اليوكاريوت عـائما في السيتوبلازمة كوهن طويل (straud) مربوطا في أنشوطـة (loop) يلتف دنأ اليوكاريوت في صبغيات (chromosomes)تبدو كخرز منظومة في خيط، وكل صبغية تتضمن مجموعة معينة من الجينات (genes) •يتباين عدد الصبغيـات باختلاف الانواع، فذبابة الفواكه لها ثمان (٨)، والبصل ست عشرة (١٦)، والانسان ست وأربعون (٤٦)، والسائمة ستون (٦٠)•

يبدو أن النواة تبقى بنية متجانسة اثناء ردح كبير من عمـر الخليـة اليوكاريوتية ، وذلك باستثناء مساحة كروية منفصلـة صغيرة في بـاطن الاورغانيلة تسمى بالنوية nucleolus :وهي جسم ظـاهر يتألف من البروتين مع بعض رنأ (حامض الريبونوويك) عادة كروية الشكل تقع في باطن النواة (nucleus))• يبدو ان النواة nucleus تبقى خالية من كل نشاط اثناء مرحلة الاستراحة أو الهجوع مع الصبغيات منتشرة في فوضى ضاربة • غير أنهذه هي الفترة التي يجري فيها تجميع الكيميائيات المونومرية (monomeric chemicals) لاستنساخ جزيئة الدنأ (DNA molecule) •

وعندما يحل ميعاد التكاثر يبدأ زوجان دقيقا البنيـة من الوكائت، او السنتريولات (centrioles) ، يقعان مباشرة خارج النواة ، يبدآن بالابتعـاد

عن بعضهما، وفيما يفعلان ذلك يمدان بينهما خيوطا سهامية (gassamer threads) تسمى بألياف المغازل (spindle fibres) • وعندما تتحرك الوكائث (centrioles) نحو طرفي الخلية المتقابلين تبدأ الصبغيات بالالتفاف والتكثف•

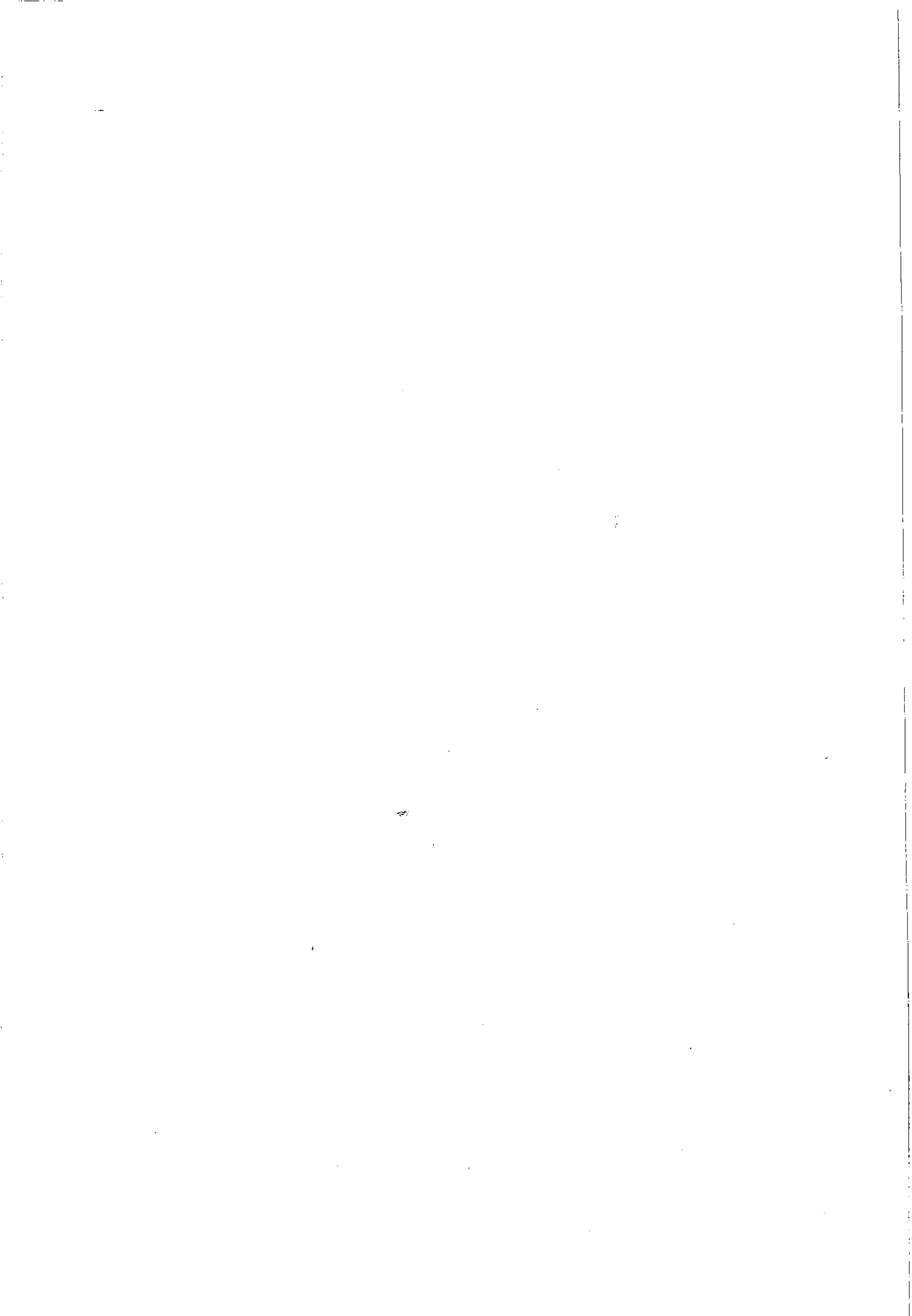
آنذاك يبدأ غشاء النواة بالتصدع والتفتت متيحا للمغازل الامتداد عبر الخلية كلها، وبهذا الوقت تكون الصبغيات قد تشكلت في بنى قضيبية واضحة فتلتصق المغازل بالاجسام الصغيرة فيها• بعد ذلك يتم سحب الصبغيات الى خط استواء (equator) الخلية حيث ترتصف كالنقانق لتنقسم بالتساوي بين الخليتين الابنتين•

ومتى يتم الانقسام بين الصبغيات تبدأ المغازل بلفها نحو قطبي الخلية• بعد هذا تسترخي الصبغيات من فلكاتها أو حوياتها (whorls) المكتنزة • وفي اثناء ما تبدأ الصبغيات بالانحلال من تلافيفها والامتداد يجري تغزيل spu نووي حول كل مجموعة، وبعد ذلك يتجمع الغشاء النووي معا في الوسط وينفصم وبذلك يفصل الخلية الاصلية الى خليتين ابنتين مستقلتين تامتين•

تستغرق الخلية البشرية حوالي ثماني عشرة ساعة للتجدد بينما تعد هذه الفترة بالدقائق بالنسبة الى البكتيرة، أي ان هذه تتجدد في خلال ثماني عشرة دقيقة بدلا من ساعة! لكن الدنأ البكتيري هو بمثابة صبغية مفردة تتألف من حوالي الفين وخمسمائة (٢٥٠٠) جينة مع ما يقرب من مليون مونومرا منظومة معا في بوليمر (polymer) ولي (linear) ، يبلغ طوله عند مده بتمامه ما يقرب من مليمتر ونصف (١ر٥ ملم)• ومن جهة أخرى، يمكن ان يتضمن دنأ الخلية الثديية مائة الف (١٠٠ ٠٠٠) جينة ويتألف من بوليمر يتضمن اربعة آلاف مليون (٤٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠) مونومرا ويبلغ طوله عند مده على تمامه خمسين (٥٠) بوصة•

تشتمل البروكاريوت على البكتيريا، والسيانو بكتيريا، والكلوروكسي بكتيريا[٤] (chloroxybacteria) الحديثة الاكتشاف ، وبعض المتعضيات المتعددة الخلايا مثل الاكتينوبكتيريا والميكسوبكتيريا المثمرة (actino bacteria fruiting myxobacteria) • أما اليوكاريوت فتشتمل على معظم المتعضيات المألوفة بما في ذلك مثل حوامل البحر (seaweeds)، والاوليات (protozoa) والفطريات (fungi) ، والنباتات والحيوانات• تمتلك البروكاريوت مسالك تآيضية (metabolic pathways) للتجزئة التخمرية للمواد العضوية ، واختزال أو تثبيت ثاني اوكسيد الكربون والنيتروجين الجويين، وأكسدة كبريتيد الهيدروجين الى كبريت، والتمثيل الحيوي (biosynthesis) للحوامض الدهنية ومشتقات الايسوبرين مثل البورفرين (porphyrins) • مع قيام اليوكاريوت جاء التنفس الهواء والتمثيل الاستيرويدي (steroid synthesis) • (الاستيرويد هو أحد مجموعة من المركبات تشمل الستيرول وهو من الكحول غير المشبعة مثل الكولستيرول، والحوامض الصفراوية والهرمونات الجنسية وغيرها)•

تمثل هذه المسالك، مع الآليات الخاصة لاستنساخ وتمثيل الجزيئات الضخمة (macromolecules) أغلب الانشطة الخلوية الاساسية لجميع الكائنات الحية قاطبة• وبما ان هذه تتواجد حتى في المتعضيات المجهرية فاننا بالحتم نواجه الادراك الرهيب ان الفوارق التي نقيمها بين أنفسنا وبين الاشكال الأخرى من الحياة ليست في الحقيقة بالاهمية البيولوجية التي نشتهي أن نعتقد ، وان جميع الابتداعات البيوكيميائية العظمى كانت قائمة في الوجود قبل ظهور أية نباتات وحيوانات، وقبل أن تتضمن القارات اية حياة ، وقبل ان تطور الخلايا وسائل تعدد الخلوية•



الفصل السابع
الريازة الجزيئية

يتألف جسم الانسان من حوالي عشرة تريليونات من الخلايا (التريليون الامريكي هو الرقم واحد متبوعا باثني عشر صفرا، وهو المقصود بلفظة التريليون في كل هذا الكتاب)• وكل خلية تعمل كالمتعضية الاحادية الخلية تقوم بتناول المواد الغذائية وتديم تواجدها فيما تقوم بانجاز وظيفة نوعية معينة في خلقة الشخص الكلي• ومن التآلف المتناغم البالغ التعقيد للوظائف الخلوية يتأتى الوعي والاحساسات والعمليات الحياتية التي تتيح لنا التواجد في عالمنا الابعادي• وفي مرتكز وأساس التعقد العددي والسلوكي لوجودنا تكمن الوحدة الذاتية الكينونة ، ألاوهي الخلية•

ان الوحدة الاساسية الجوهرية لتركيبتنا هي الخلية اليوكاريوتية وهي بالغة في الصغر تتعذر رؤيتها بالعين المجردة ويتوجب لرؤيتها تكبيرها عدة مئات من المرات• لكن حجم وتعقد اليوكاريوت أعظم من مثيليهما في البروكاريوت بألف مرة• وبالرغم من تناهيها في الصغر فان البروكاريوت ليست بذاتها عنصرية (elemental) • فهي ايضا وحدات ذاتية الكينونة تنبع حيويتها وتكاملها من التآلف التناغمي لمقومات من رتبة أخرى تكمن في قاعدتها الاساسية•

والبكتيريا تؤلف أبسط اشكال الحياة • وعبر هوة الى أعماق الصغر التي يعجز عن الوصول اليها حتى المجهر الالكتروني يوجد عالم هائل يعج بالاحياء يربط ما بين الحياة والجماد • وقد كان من هذا العالم ان نمت الوحدات البنيوية التي خلقت المنظومات الحية ، وهذه الوحدات البنيوية هي الجزيئات الكيميائية •

لقد اضطر علم الكيمياء بذاته أن يتطور على مدى مائتي سنة قبل أن يتمكن من معالجة الكيمياء المعقدة للمنظومات البيولوجية ، وبحلول القرن الثامن عشر كان العلماء قد ارسوا العديد من مبادىء الكيمياء والفيزياء التي كانت صائبة بالنسبة الى المواد اللاعضوية لكن تعقدية المنظومات البيولوجية وطبيعتها التوارثية بديتا تستثنيانها من منطوق هذه المبادىء والقوانين الفيزيائية الملموسة . وتم اقرار هذا الرأي رسميا في عام ١٧٠٧ عندما أعلن الطبيب الالماني جورج ارنست شتاهل (Georg Ernst Stahl)* النظرية بأن الحياة تخضع لقوانين خاصة لا مادية . كانت هذه النظرية الحيوية التي نصت على ان جميع الكائنات الحية تتضمن قوة حية ، وهي قوام لا مادي غير قابل للفصل يقوم بتوجيه واتاحة انجاز وظائف جميع العمليات الحياتية.

كان الكيميائيون الاولون يدركون ان المواد من الكائنات الحية كانت بوضوح تختلف عن العالم الفلزي وتقع في فئات متميزة. فالنشاء الابيض الطباشيري يستخرج من القمح والبطاطا والرز ويستخدم في تجسئة ياقات الاعيان، وتستخرج الزيوت من النباتات والحيوانات للاستعمال في الاغذية وكوقود لمصابيح الاضاءة ولما كانت الدهون والشحوم غير قابلة للذوبان وزيتية الملمس، فانها جمعت معا في صنف الدهنيات (lipids) . ثم جاءت مجموعة ثالثة وجدت في الاغذية المغايرة للصنفين الآخرين ، وكانت هذه المواد الزلالية او الانبومينية السائلة الموجودة في آح البيض والحليب والدم. وكانت مفردات هذه الفئة غير مستقرة بوجه خاص وتخثرت عند تسخينها.

على نقيض أغلب المركبات اللاعضوية كانت منتوجات المتعضيات غير مستقرة ازاء الحرارة وتتغير عند التسخين تغيرا ثابتا لا رجوع فيه، واغلبها غير قابل للاحتراق. بين التحليل العناصري ان النشأ تألف من الكربون

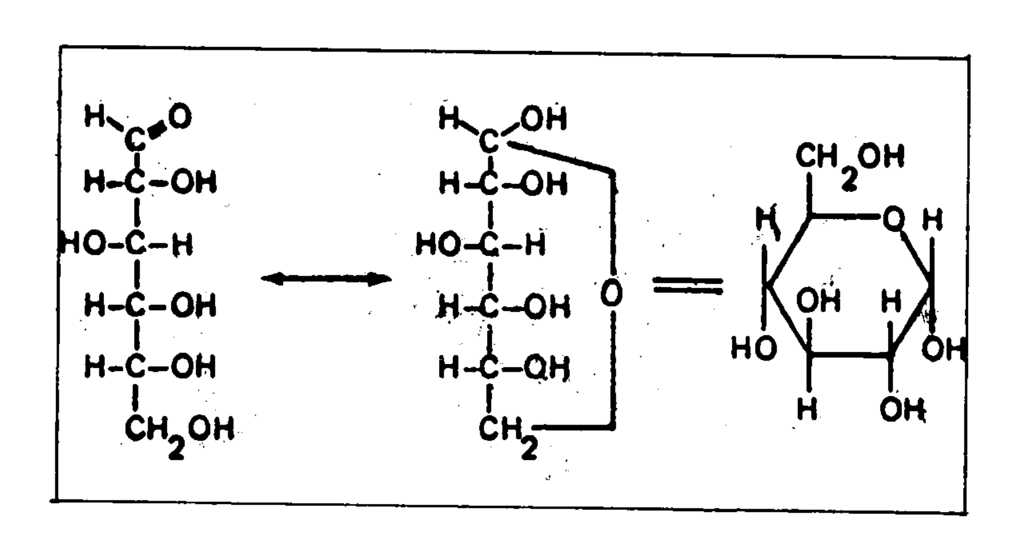
والهيدروجين والاوكسجين، وان الدهنيـات كانت في معظمهـا تتألف من الكربون والهيدروجين وقدر ضئيل من الاوكسجين، وان المواد البومينية تضمنت الكربون والهيدروجين والاوكسجين والنيتروجين وأحيانا الكبريت والفوسفور • ومع كل هذا القدر من الكـربون والهيدروجين بدا واضحا لماذا كانت هذه المواد قابلة للاحتراق • وما عدا ما هو في الحجر الجيري ليس الكربون عنصرا شائعا بين الفلزات • أمـا في المنظومات الحية فهو دائما موجود•

كانت قوانين واساليب الكيمياء قد ارتسخت بحلول القرن التاسع عشر، والكثير من الكيمياء الحديثة قد نما من أعمـال يونز ياكـوب برزيليوس (Jons Jacob Berzelics) في السويد • فقد تمكن برزيليوس في بـواكير أعوام ١٨٠٠ من التثبت من التركيب العناصري المضبوط والصيغ الكيميائية لنحو الفي (٢٠٠٠) مركب (compound)• كما انه قدم للعالم العديد من الكلمات الكيميائية بما في ذلك كلمة بوليمر (polymer) للدلالة على جزيئة كبيرة تضم معا وحدات فرعية صغيرة، وكلمة كاتاليست (catalyst =محفز) للدلالة على المادة التي تساعد في اتمام تفاعل كيميائي دون ان تستهلك هي بذاتها•

كانت بضعة مركبات بيولوجية نقية قد سبق وشاعت معرفتها قبل عهد برزيليوس ، وكان قد تم عزل العديد من السكاكر البلورية من عـدد من المصادر وكانت اليوريا (Urea) ايضا معروفة كبلورات تظهر عند تبخر البول الى حد الجفاف• بدت المركبات المنقاة المشتقة من المنظومات الحية تتضمن العديد من الخواص المشتركة التي لا تتعداها الى الكيماويات اللاعضوية • صاغ برزيليوس كلمة عضوي (organic) وقسـم الكيميـاء الى عضويـة ولا عضوية ، مع الاولى مشتملة على المركبات من المنظومات الحية ومتميزة ومنفصلة عن الكيمياء اللاعضوية•

وهكذا تم وضع التمييز الكيميائي، وأبدى أصحاب المذهب الحيوي ارتياحهم • فبعض عن كيفية نشوء الحياة ، فانها بقيت مسألة فلسفية لأنــه لم يمكن أن تتأتى من مادتها الدنيوية من التربة او من الفلزات • فان كانليأتي تفسير علمي لنشأة الحياة، فان مسألتها الاساسية آنذاك كانت هي نفسهــا التي قامت بعد مضي مائة عام عليها، وهي: كيف تمكنت المواد العضوية أن تتأتى من المواد اللاعضوية في الارض؟

ظل تمييز برزيليوس بين الكيمياء العضوية واللاعضوية قائما لمدةاحدى وعشرين سنة فقط • اذ أن أحد تلاميذه بالذات، وهو الكيميــائي الالماني فريدريش فولر (Friedrich Wühler)قام بنسف الحاجز على حين غرة • كانت تجربة بسيطة ، ولكنها لم تقبل النزاع • فقد تمكن ڤولر من انتاج اليوريا من تسخين سيانات الامونيوم (ammonium cyanate)، وهي املاح لا عضوية ، بينما اليوريا هي المادة الاعتيادية التي تفرزها الثدييات في بولها• وجاء هذا الاكتشاف بمثابة ضربة قاسية لاصحاب النظرية الحيوية ، ولكنهم انتعشوا لحد ما في محاولة لاعادة صياغة موقفهم، انما تجربة ڤولر كانت مجردالبداية للانهيار الكلي للتقسيم بين كيمياء الاحياء وكيمياء الجماد•



الشكل ١/٧ ـ الصيغ البنيوية للغلوكوز د D—Glucose

وبعد أحد عشر عاما ، في عام ١٨٣٩، ضم شفان (Schwann) جميع الكائنات الحية في بوتقة مشتركة باقرار الخلية كالوحدة الاساسية للحياة. وواصل الكيميائيون، طوال بقية القرن، وفيما عكف البيولوجيون على دراسة تركيبة ووظيفة الخلية، يميطون اللثام خطوة فخطوة عن ريازة المركبات العضوية.

في عام ١٨١٢ أذهل غوستاف كيرخهوف (Gustav Kirchhoff) الكافة بتغلية النشاء العادي مع قليل من الحامض والحصول على سكر العنب (grape sugar) . كان حلمأ (hydrolysed)النشأ ، أي انه صدع الاربطة المتوازية التكافؤ (covalent bonds) مع اضافة الماء بنوع من الهضم محفز بالحامض . وبعد ذلك بسبعة أعوام قام الكيميائي الفرنسي براكونيه (Braconnet) بتغلية عدة مواد نباتية بما فيها نشارة الخشب وولد منها السكر البسيط غلوكوز (glucose). وعلم فيما بعد ان مادة باسم خليولوز أو سيليولوز (cellulose) ، وهي مقوم رئيس في النبات، كانت مصدر غلوكوز براكونيه.

قام جوزيف لويس غاي لوساك (Joseph Louis Guy-Lussace) بتحري النشأ والسليولوز والسكاكر المختلفة ووجد عند تحليلها ان كلا منها أعطى ذرة كاربون واحدة لكل ذرة من الاوكسجين وذرتين من الهيدروجين . كما بدا ان هناك جزيئة ماء واحدة لكل ذرة كاربون، معطية بذلك الصيغة CH_2O لمفردات هذه المجموعة ، واستفزه هذا الوضع الى تسميتها بالكربوهيدرات (carbohydrates) أو الكاربون المميه أو المهيدر (hydrated carbon) .

كانت السكاكر ابسط البنى الجزيئية يمكن الحصول عليها بالحلمأة

(hydrolysis) ، وعند مقايسة الوزن الجزيئي للغلوكوز وجد انه يبلغ (١٨٠) أو ستة اضعاف وزن CH_2O ، والسكاكر البسيطـة الاخرى أعطت ايضا نفس الصيغة. ولما كان النشأ والسليولوز أكبر بكثير وبحجم تتعذر مقايسته بأساليب تلك الايام، فانه بدا واضحا انهما كانا متكونين من ترابط السكاكر البسيطة.

قام الكيميائي الزراعي الهولندي جيراردوس مولدر (Gerardus Mulder) بدراسة المادة الالبومينية الموجودة في المـواد الغذائيـة ، وفي عام ١٨٥٨ باقتراح من برزيليوس أطلق اصطلاح البروتين على هذه المجموعة ، وبسرعة أدرك البيولوجيون ان الجبلة الاولية (protoplasm) وهي السـائل اللـزج الموجود في جميع الخلايا والمعتبر أساس الحياة ، كان متألفا في معظمه من البروتين. وعند حلمأة البروتينات تبين، على نقيض النتائج المستحصلة بالنسبة الى الكربوهيدرات، ان هذه أعطـت خليطا من مركبـات أصغـر تتضمن النيتروجين صعبة الفصل. وعند انجاز عزل الاولى من هذه السلاسل في عام ١٨٢٠ وجد انها مادة كيماوية بلوريـة بيضاء وأطلق عليهـا اسم غلايسين (glycine) ، وهذه هي الحوامض الامينية الالفائيـة (alpha amino acids) متميزة باحتوائها على حامض الكاربوكسيليـك (carboxylic) والمجموعـة الامينية المرتبطة بنفس الذرة الكاربونية كان قد اسماها برزيليوس في عـام ١٨٤٨ ثم انقضى أكثر من قرن قبل التمكن من عزل وتشخيص جميع الواحـد والعشرين حامضا أمينيا الموجودة عاديا في البروتينات.

بحلول عام ١٨٢٧ كان ويليام براوت (William Prout) قد نهض يقترح ان جميع المادة العضوية في المنظومات الحية كانت تتألف جوهريا من ثـلاث فئات من المواد هي الكربوهيدرات ، والدهنيات ، والبروتينات ، وفيماواصل الكيميائيون استقصائها اكتشفوا ان الخـاصية المميزة للنشاء والسليولوز،

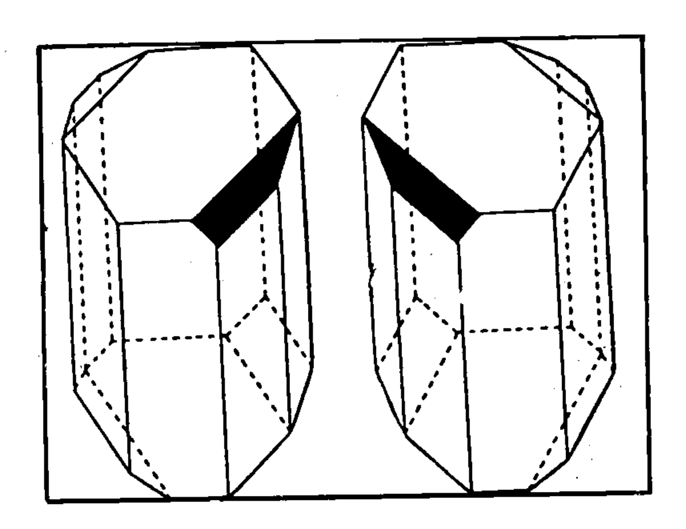
والبروتينات هي انها من جزيئات ضخمة للغاية ، وهذه ميزتها عن المركبات اللاعضوية التي نادرا ما تجاوزت وزنا جزيئيات بقدر بضع مئات، لكن مقايسة احجام هذه البوليمرات العضوية كانت بعيدة عن مقدور الاساليب المتوفرة للكيميائي اواسط القرن التاسع عشر ، انما تمكن العلماء من الوقوف على حقيقة في غاية الاهمية وهي ان الحياة كانت مشيدة من جزيئات ضخمة.

توفي برزيليوس في عام ١٨٤٨ بعدما أنجز تنظيم الكيمياء وتوجيهها في مسارها ، وبنفس الوقت قدم كيميائي فرنسي شاب باسم لويس باستور (Louis Pasteur) ورقة الى أكاديمية العلوم في باريس يعلن فيها عن اكتشاف باهر كان قد انجزه . كان قد وجد ان بعض المركبات الكيميائية تتواجد كمكونات يمنائية وأخرى عسرائية (right-handed, lefthanded) مع كون كل منهما شبحا مرآتيا للآخر . وحامض الدردريك أو الصاموريك (tartaric acid) الذي كان يظهر في طرائق صناعية معينة ، وجد بأنه يضم نفس التركيبة كالحامض الارومي (native acid) الناتج عن تخمر العنب ولكنه اختلف عنه بخاصية واحدة فقط وهي انه عند النظر الى حامض الصاموريك الطبيعي من مكشاف استقطابي (polaroscope) أعطى هذا الحامض دورة (rotation) لحزمة من الضوء المستقطب (beam of polarised light) بينما الحامض الاصطناعي (synthetic acid) أخفق في فعل هذا.

درس باستور بلورات حامض الصاموريك الاصطناعي تحت المجهر واكتشف شكلين بلوريين كلاهما شبح مرآتي للآخر ، وبفصل البلورات بتأن وعناية بالغة بالملقطة أو الجفط وجد ان الشكلين كانا ظاهرتين متعاكستين على الضوء المستقطب ، فاستثبت أن ذلك كان ناجما عن عدم التناظر الجزيئي (Molecular asymmetry) وبرهن ايضا على أن خاصية التشابه البصري

(optical isomerism)هذه، أي الحيازة على نفس الصيغة الجزيئية مع اختلاف دورة الضوء المستقطب ، تحصل في مركبات عضوية أخرى، انما يوجد فقط شكل واحد للمنتوجات الطبيعية • وقد تم انتاج كلا الشكلين في التمثيل الكيميائي بنسب متساوية بحيث ان المادة لم تظهر أي تدوير للضوء المستقطب• ولما كان يوجد شكل متساوي الاجزاء (isomeric) واحد في الطبيعة • استنتج باستور ان المتعضيات كانت انتقائية السلوك نحو المتشاكلات او المتماثـلات (isomers)، وهذه المعلومة هيأته لاكتشاف آخر•

حتى زمن باستور ، لم تكن الخميرة (yeast)تعتبر متعضية مجهرية وانما مجرد عامل محفز (catalyst)عضوي يساعد على تخمير الخبز وتخمر عصير الفواكه• وعندما طلبت منه صناعة الخمور أو النبيذ استقصاء مشكلة تردي منتوجاتها قام باستور بدراسة التخمر (fermentation) وحدس بصـواب أن تحويل السكر الى كحول كان نتيجة نشاط بيولوجي لمتعضية حية هي الخميرة (yeast) ، وخلص زيادة على ذلك الى القول انه توجد متعضية مجهرية نوعية معينة تتسبب في تخمر العصير وتمضر الحليب (أي تحمضـه) وتخمخم أو انتان اللحم• وبفضل انجازاته العملاقة في البيولوجيا المجهرية ، حقق باستور تفهما أفضل للحياة في المستوى المجهري• وبالتجربة البسيطة برهن على ان كل جرثومة أو ميكروبة مشتقة من ميكروبة حية سبقتها في الوجود وبذلك منح حتى المتعضيات المجهرية اسلافا سلالية وفي النهاية الغى فكرة التولـد التلقائي•



الشكل ٧/٢ - رسمان لبلورات حامض الصاموريك يوضحان الشبحين المرآتيين لايسومرين اللامتناظرين .

دخلت كيمياء المركبات العضوية عصرها الثاني في عام ١٨٥٨ مع ولادة النظرية البنيوية (structural theory) • وبهذا الوقت كانت الصعوبة تشتد بتزايد في مطابقة كل هذه الصيغ الجزيئية (molecular formulas) لهذا العدد المتنامي من المركبات العضوية • قام أوغست كيكولة (August Kekulé) بدراسة هذه المشكلة وبرهن على ان الكاربون رباعي التكافؤ (tetravalent)، أي ما معناه ان الكاربون يشكل اربعة اربطة كيميائية مع الذرات المتجاورة لها ، لكن الاهم من ذلك هو ادراكه أن بوسع الكاربون أن يرتبط ليس فقط مع عناصر أخرى وانما ايضا مع ذرات كاربونية أخرى مؤديا الى سلاسل طويلة تسمى بالمسلسلات الاليفاتية (aliphatic series) ، وفي وقت لاحق طرح نظرية المسلسلات العطرية او الاروماتية (aromatic series) المتألفة من جزيئات تتضمن حلقة البنزين (benzene ring) •

تمت اضافة بعد آخر في عام ١٨٧٤ عندما اقترح ياكوبوس فانت هوف (Jacobus vant Hoff) وجوزيف ليبيل (Joseph Le Bel) أن اربطة الكاربون الرباعية التكافؤ كانت موجهة نحو الزوايا الاربع للرباعي الاسطح (tetrahedron) مع الكاربون في المركز• أصبحت بنية او ريازة (architectude) المركبات العضوية ثلاثية الابعاد • ورغم ان تمثيل اربطة الكاربون كصورة مستوية موجهة الى زوايا قائمة قد استبقيت بدافع السهولة فانه كان قد ادرك ان الاربطة الموجهة الى زوايا رباعي الاسطح أعطت تمديدا حيزيا للمواد العضوية•

في عام ١٨٧٥ نجح أميل فيشر (Emil Fischer) الذي كان أحد تلاميذ كيكوله في البرهنة على البنية الثلاثية الابعاد للسكاكر وثبت صيغ بنيتها بالتمثيل (synthesis) وهي في العموم الاثبات الختامي على صحة صيغة ما• ولما كان النشاء غلوكوزا مربوطا معا في بوليمر فقد تم الاقرار بأن بنيته هي كالآتي:

فقد كان يوجد صنفان اساسيان من جزيئة النشأ هما البوليمر الطولي او الخطي (linear) والبوليمر المتفرع، وعندما تم التثبت في النهاية من الاوزان الجزيئية وجد أن البوليمر الطولي يتباين في الحجم من مائة (١٠٠) وحدة الى الف (١٠٠٠) وحدة غلوكوزية.

كانت ريازة المواد المعزولة من النباتات والحيوانات الاكبر حجماوالاكثر تعقيدا التي واجهها الكيميائيون مطلقا، وتبين ان قوى التمثيل الكيميائيالتي تمارسها المنظومات الحية هي فعلا باهرة وحتى رهيبة. فقد انتجت المتعضيات منتوجات طبيعية من احجام هائلة وتعقيـد متنـاه ومحير مثل اليخضور او الكلوروفيل ($C_{55}H_{72}MgN_4O_5$ chlorophyll) والهيموغلوبين (hemoglobin) $(C_{738}H_{1166}FeN_{202}S_2)_4$ ، وذلك بسهـولة تتجـاوز الى اللامعقول ، بينما لتمثيل او تركيب (synthesise) حتى ابسط المركبات في المختبر يضطر الكيميائي الى استخدام درجات حرارة عالية وعوامل شديدة التفاعل للغـاية ليحصل في العموم فقط على مردود منخفض من المنتوج المنشود . اذن، كيف كان ذلك ممكنا بالنسبة الى المنظومة البيولوجية؟

ظل الجدال محتدما طوال اكثر من خمسين عاما خـلال النصف الاخير من القرن التاسع عشر بين اصحاب المذهب الحيوي وأصحاب المذهب الآلي أو الميكانيكي، وأصر الحيويون على ان التفاعلات البيولوجية ممكنة فقط بفعل المنظومات الحية بينما اعتقد الميكانيكيون ان العمليـات البيولوجيـة جاءت نتيجة للتفاعلات الكيميائية ، رغم انها كانت معقدة للغـاية ، انما مع ذلك كانت مركبات كيميائية.

عودة الى أعوام ١٨٣٠ كان الناس قد درسوا العملية الهضمية واكتشفوا وجود حامض الهيدروكلوريك في مستخرجات من المعدة ، ولما كانت حلمأة

الكربوهيدرات والبروتينات بالحوامض معروفة فانه بدا واضحا ان هــذه هي عملية الهضم • ثم في عام ١٨٣٥ قام ثيودور شفان بعزل مسحوق عضوي من السوائل المعدية لم يكن حامضا ولكنه مع ذلك كان نشيطا جدا في تجزئة او تكسير اللحوم، فأطلق عليه اسم بيبسين pepsin = الهضمين ، وهي مشتقة الكلمة اليونانية الدالة على الهضم) كما تم العثور على محفزات عضويــة أخرى ايضاء وفي عام ١٨٣٣ تمكن پيين (Payen) وبيرسوز (Persoz) من عزل الدياستاز (diastase) من شعير الملت (Malt) الذي موه أو حلمأ النشأ الى سكر ، وأعلــن يوستوس فون ليبيج (Justus Von Liebig) وفريدريش فولر (Friedrich Wohler) في عام ١٨٣٧ عن استخراج المستحلبين او الايمالسين (emulsin) من اللوز المر، واستخــرج دونفرونفاوت (Dunfrunfaut) محفــزا عضويا من الخميرة التي تجرد السوكــروز (sucrose) وتحيلــه الى سكاكر بسيطة كالغلوكوز والفروكتوز (glucose and fructose) • لكن لما كان كل من هذه المحفزات العضوية يسفر عن الحلمأة فقد اعتبرها الحيويون كعــوامل هضم، وهي عملية يمكن أن تتم خارج الجسم، واصروا في جدلهــم على أن تحويل مركب عضوي الى آخر بالطريقة التي تغير الخميرة بهــا السكر الى كحول يتطلب متعضية حية•

وفي عام ١٨٩٧ حاول ادوارد بوخنر (Eduard Büchner) وهو كيميــائي الماني، تحليل عملية التخمر الكحولي هذه • قام بطحن خلايا الخميرة بالرمل الى أن تفتتت كلها، ثم أزال الرمل والحطام الخلوي منها بالترشيح• وعندما أضاف بوخنر السكر الى الرشيحة التي كانت الآن خالية من كل خلايا خميرية، بدأ تخمر سريع على الفور ، وثبت له ان التخمر لم يحتج الى الخلية ، فان التفاعل البيولوجي كان يتم ليس بالمتعضية الحية وانما بمادة ما مستخرجــة من الخلية • وأدرك بوخنر ان التخمر لم يكن عملية فزيولوجية (physiological)

وانما تفاعلا كيميائيا تحفزه انزيمة ، وأطلق على هذه الانزيمة اسم الزيماز (zymase) •

فلماذا نجحت تجربة بوخنر حيث اخفقت غيرها؟ والجواب على ذلك يكمن في ان الانزيمات (enzymes) هي بنى هزيلة ، ففي السابق كانت الطريقة المستخدمة لقتل خلايا الخميرة دائما تحطم ايضا التضاريس الهشة لجزيئات الانزيمة•

اثبت اكتشاف بوخنر ان العمليات البيولوجية التي تقوم بها المتعضيات هي بالفعل تفاعلات كيميائية تحفزها مكونات عضوية تسمى انزيمات يمكن تقصيها منفصلا بدون الخلية • وأدرك بسرعة ان الهضمين والمستحلبين والدياستاز والانفرتاز (invertase) كانت ايضا بيومحفزات أو محفزات حية (biocatalysts) تنتمي الى صنف الانزيمة • غير انه لم يكن يعلم الكثير آنذاك عن التركيبة الكيميائية للانزيمة ولا عن طريقة فعلها ما عدا انها كانت ضخمة جدا وغير مستقرة (unstable) •

كانت ملاقاة أحجام جزيئية أكبر من أن تخضع للمقايسة دائما عقبة مزعجة ومثبطة لدراسة المواد البيولوجية ، فانه بدون أي تقدير ثابت للحجم الجزيئي بقي شبح النشاءات والبروتينات والانزيمات غامضا مبهما ومجهولا •

بدأ تحقيق التقدم في مجال مقايسة الاوزان الجزيئية الكبرى في عام ١٨٧٧ عندما حاول الخبير الالماني ڤيلهلم بفيفر (Wilhelm Pfeffer) استخدام أسلوب كان قد اكتشفه توماس جراهام (Thomas Graham) في اسكوتلندة قبل ذلك بسبعين سنة خلت • فقد كان جراهام قد علم ان صفيحة المهراق (parchment) الرقيقة بين محلول ملح من البروتين والماء النقي تتيح للملح الترشح من خلال مساماتها ولكنها تحجب البروتين لكون هذا ضخما للغاية• في الواقع تمر ايونات (ions) الملح وجزيئات الماء الصغيرة بطلاقة الى ان

يتم التعادل بعدد متساو منها في كل من الجانبين • لكن اذا تضمن أحـد الجانبين مادة مثل البروتين التي هي أكبر من أن تمر من خلال الغشاء شبه المرشح فانه عند التعادل للماء يزداد حجم أو كمية محلول البروتين لأن حجم وحدة من محلول البروتين يتضمن بالاساس ماء أقل من حجم وحدة من الماء، فسميت هذه الزيادة في الحجم أو الكمية بالضغط التناضحي (osmotic pressure)

أن ما ادركه بفيفر كان ان الضغط التناضحي يتوقف على عدد جزيئات البروتين، ولما كان العدد في العينة الموزونة يعتمد على الحجم الجزيئي فان الضغط التناضحي ينتمي الى الوزن الجزيئي• جرى تهذيب هذه الطريقة في وقت لاحق من قبل خبير الكيمياء الفيزيائية الهولندي فانت هوف (Van't Hoff) لقد كانت الصعوبة تكمن في كيفية رسم علاقة تناسبية موثوقة بين الضغط التناضحي الذي تظهر قراءته في التجربـة وبـين بعض الاوزان الجزيئيـة المعلومة • وبعد التثبت من صحة معايرة الاسلوب تسنى مقـايسة الضغط التناضحي لعينة موزونة من أي بروتين واحتساب وزنها الجزيئي•

لقد تبين ان الاحجام الجزيئية للبروتينات كانت ضخمة ، ووجد انزلال او البومين البيض (egg albumin) يبلغ (٣٤٠٠٠)، والهيموغلوبين (٦٧٠٠٠)، وبضعة من البروتينات كانت دون العشرة آلاف (١٠ ٠٠٠)، والعديدة منهـا كانت أكبر من مائة الف (١٠٠ ٠٠٠) وهو المدى الاعلى لأسلوب المقايسة• ومعنى هذا ان البومين البيض كان بيو بوليمرا (biopolymer) يتضمن حوالي ثلاثمائة (٣٠٠) حامض اميني، والهيموغلوبين بيوبوليمرا ذي أكثر من ذلك العدد • وعندما جاء الفرز المركزي الفـائق السرعة (ultracentrifuge) ليلغي ويحل محل الضغط التناضحي في القرن العشرين كوسيلة للتحقق من الاوزان الجزيئية جاءت البروتينات الاكبر من مائة ألف (١٠٠ ٠٠٠) ضمـن نطـاق

المقايسة • لكن امكانية ابتداء معرفة ترتيب السياق لجميع الحوامض الامينية والشكل الكامل لمثل هذه البنى العملاقة بدت بعيدة•

كانت الانزيمات سر الحياة المحير، فلم يكن يعلم أي شيء عن طبيعتها الكيميائية ولا عن طريقة فعلها ، ولما كانت الانزيمات محفزات مكينة للغاية فان مقادير دقيقة منها كانت كافية لتحفيز التحويلات الكيميائية النوعية ، وبالنتيجة فان مقايسة ناتج الفعل الانزيمي كان أكثر سهولة من اكتشاف الانزيمة بذاتها• اذ انه بوسع بعض الانزيمات ، مثل الأنهيدراز الكاربونية (carbonic anhydrase) التي تنزع الماء من حامض الكاربونيك ، أن تقوم بتحويل أكثر من مليون جزيئة بالدقيقة الواحدة مقابل كل جزيئة من الانزيمة• لقد استلزم تحليل تركيز الانزيمة تهيئة كمية قابلة للقياس من عينة منقاة وكان ذلك مستوى من الاعداد صعب التحقيق بالاساليب المختبرية المتوفرة عند منقلب القرن، انما الامر الذي كان معلوما هو ان الانزيمات كانت غيرمستقرة للغاية وتفقد انشطتها بسرعة اذا جرى تسخينها الى مجرد(٥٦°) مئوية ، أي لا أكثر من تسع عشرة درجة فوق درجة حرارة الجسم• كانت هذه ظاهرة مواربة للغاية وشبيهة بأمر البروتينات ، ولهذا بدأ العديد من الكيميائيين بالاعتقاد أن الانزيمات كان في الحقيقة بروتينات تملك خواص التحفيز•

واستمر الجدال يعصف تارة لصالح هذه النظرية وأخرى ضدها طوال عقدين من السنين دون أن يتمكن أي من الجانبين تجميع قدر واف من البيانات لحسم النزاع• ثم في عام ١٩٢٠ قام ريتشارد فيلستيتر(Richard Willstäter) ، وهو كيميائي الماني شهير وفائز بجائزة نوبيل بدراسة المشكلة • قام بتصفية عينة من الانزيمات بعناية بالغة الى أن اقتنع بنظافتها تماما من جميع الشوائب، ووجد ان المحلول الصافي كان لا يزال يحتفظ بالنشاط الانزيمي بالرغم من انه لم يجد أي أثر للبروتين• وبناء على ثقته من النتائج المستحصلة

أعلن فيلستيتر للعالم العلمي انه كان موقنا تمام اليقين ان الانزيمات لم تكن بروتينات ، لكنه كان مخطئا • لقد فات فيلستيتر أن يدرك أن بوسع الانزيمات ابداء نشاطها في مستويات تركيزية أقل بكثير من المقادير المطلوبة لاكتشاف البروتينات بالاساليب المعروفة آنذاك•

ثم في عام ١٩٢٦ قام أحد أساتذة الكيمياء الحيوية من جامعة كورنيل باجراء تجربة بسيطة الى حد اللامعقول أدت الى قلب العديد من المعتقدات الراسخة • فقد كان جيمز سامنر (James B. Sumner) يعمل منذ تسع سنوات جاهدا لعزل يورياز الانزيمة (enzyme urease) من الفاصوليا المتسلقة (jack beans) •كان لغز المشكلة ايجاد الوسيلة المناسبة لاجراء ترسيب انتقائي لليورياز من مستخرج خام لعزل ناتج صاف • وفي أحد الايام فيما كان سامنر يتبع اقتراح من أستاذه السابق بجامعة هارفارد لجأ الى استخدام الاسيتون (acetone) لاستخراج المسحوق أو الدقيق من الفاصوليا • بعد ترك المحلول ليترشح طوال الليل قام بفحص قطرة من الرشيح تحت المجهر وشاهد بلورات دقيقة ثمانية السطوح لم يكن قد رأى مثلها قبلا قط، فجمع هذه البلورات بواسطة جهاز الفرز (centrifugation) المركزي، ثم اذابها وفحص المحلول الذي كشف عن نشاط يوريازي شديد • واباتت الاختبارات اللاحقة ان البلورات كانت بروتينا ذا وزن جزيئي يبلغ (٤٨٣٠٠٠)• وبذلك لم يكن سامنر قد أثبت ان الانزيمة كانت بروتينا فحسب، بل كان بالفعل قد قام ببلورته • فالمواد التي تحفز عمليات الحياة الاساسية كانت مركبات بطريقة الكيماويات العادية[١]•



الفصل الثامن
الاساس الجزيئي للحياة

ان الصفة المذهلة في الكائنات الحية هي تمكنها من التناسخ طبق الاصل جيلا بعد جيل باستمرار، وهذا يحتم الاستنتاج أن لابد للمتعضيات في تركيبتها وسيلة ما لحفظ وتخليف خزين من المعلومات هو ميراثها من الاجيال السابقة . وهذه المعلومات تتضمن التعليمات اللازمة لتمثيل المتعضية كاملة مع جميع مكوناتها .

لقد أدرك الانسان منذ عصور ما قبل التاريخ أن الوراثة قدرة تكمن في الخواص الجسمانية للنبات والحيوان ، لكن مكنون آليتها بقي مجهولا غامضا عبر القرون، ولم يتم اجراء أية دراسة علمية للوراثة حتى اواسط القرن الماضي. ففي عام ١٨٥٦ قام راهب أغسطيني باسم جريجور مينديل (Gregor Mendel) كان يربي أنواعا مختلفة من البزاليا العادية في حدائق الدير في برون (Brünn الآن Brno) في مورافيا Moravia الآن في تشيكوسلوفاكيا) باجراء التجارب على مهاجنة هذه الانواع وملاحظة انتقال الخواص والخلال المختلفة فيها الى الجيل الاول والثاني والاجيال اللاحقة. وبعد عشر سنوات ، في عام ١٨٦٦، نشر مينديل قواعد احصائية حول الوراثة في نشرة اتحاد البحوث الطبيعية في برون. لم تلق هذه الورقة اهتماما يذكر في حينها وطواها غبار النسيان ، لكن لمجرد أن يعاد اكتشافها في عام ١٩٠٠، عندما قام ثلاثة خبراء نباتيين اوربيين هم كارل اريخ كورنز (Carl Erich Correns) من برلين واريخ تشرماك فون سايسنيغ (Erich Tschermak Von Seysenegg) من فينا وهوغو دفريس (Hugo De Vries) من لايدن بهولندة في آن واحد

وعلى انفصال بالاعلان عن تتائج مماثلة لنتائج تجارب مينديل انما لمجرد أن يجدوا أن البيانات التجريبية والنظرية الخاصة بها كانت قد نشرت قبل ٣٤ عاما من ذلك التاريخ.

استمرت المناقشات العظمى حول النشوء باحتدام بالغ طـوال النصف الثاني من القرن التاسع عشر وامتدت الى القرن العشرين ، ولتفسير نظريـة داروين (Darwin) قام البيولوجيون بطرح الرأي ان الخواص البيولوجيـة ترثها عوامل بدنية تنتقل عبر الاجيال المتعاقبة، وهنا قام البيولوجي الانكليزي ويليام بيتسـون (William Bateson) بتسمية هذا الفرع من البيولوجيا أو علم الاحياء باسم علم التكوين أو علم الوراثة (genesis) في عام ١٩٠٦، وذلك اشتقاقا من كلمة التكوين (genes) ، وفي اشتقاق رجوعي غريب صار يطلق على عوامل الوراثة (inheritance factors) اسم الجينات (genes) لكن ما هي الطبيعة الكيميائية الحقيقية للجينة؟

كان قد جرى عزل المادة او المكنون الجيني (genetic substance) من نوى الخلايا بما يقرب من سبعين (٧٠) عاما قبل ادراك مغزاه البيولوجي الحقيقي. ففي عام ١٨٦٨ قام الشاب السويسري المتدرب على الطب بالتوجه الى مدينة توبنجن (Tubingen) بالمانيا قادما من مدينة بازل (Basel) على الحدود الفرنسية الالمانية السويسرية . وفي الرابعة والعشرين من عمره كان لتوه قد اكمل الامتحان لنيل الدكتوراه ، وقد جاء الى المانيا للعمـل لدى ارنست هوبـه سـايلر (Ernst Hoppe-Seyler) الكيميائي الفسيولوجي الالماني العظيم. كان الخريف قد حل قبل أن يبدأ ميشر ببحوثه العليا ما بعد الدكتوراه، الا انه بحلول شباط ١٨٦٩ كتب الى أستاذه السابق بسويسرة يخبره عن عزل مادة جديدة من نوى الخلايا.

لم يكن يعرف الكثير عن نواة الخلية في هذا الزمن ، أما وظيفة المادة الخلوية فقد كانت مجهولة كليا تقريبا • في أول الامر كان ميشر قد انتوى مواصلة بحوثه في خلايا اللمف(Lymph Cells) لكن محدودية توفرها اضطرته الى استعمال خلايا القيح (pus cells) التي استخرجها من الضمادات الجراحية• قام أولا بغسل هذه الخلايا بمحلول كبريتات الصوديوم (sodium sulfate solution) ثم بترشيحها ومعالجتها بالقلي(Alkali)لتنظيفها وازالة ما قد علق بها من شحوم وحامض الكربوليك (carbolic acid)• بعد ذلك قام ميشر بترجيج فتيت الخلايا بعنف لفترة طويلة في خليط من الايثر (ether) وحامض الهيدروكليك المخفف للغاية ، واما أن ذابت الدهون ومنتوجات التفسخ والحطام في الايثر أو انها احتبست في الفاصل البيني للسوائل غير القابلة للامتزاج، واستقرت النوى الاكثف قليلا ببطء وتساقطت الى قاع الطبقة المائية كرواسب دقيقة ضاربة الى البياض[١]•

تضمنت مادة ميشر المستخرجة من نوى القيح، والتي اسماها بالنووين (nuclein) نسبة كبيرة من الفوسفور (phosphorus)• وحتى هذا الوقت كان الليسيثين (lecithin) الناتج الطبيعي الوحيد المعروف الذي يحتوي على الفوسفور • كان النووين (nuclein) عقدة أو مشبوكة ((complex)، وذلك لتمييزه عن المركب (compound)من البروتين وحامض النوويك ، لكن اجراءات التنقية اللاحقة أفضت الى انفصال حامض النوويك ككتلة من مادة شبه خيطية ليفية طويلة يمكن تجميعها من المادة المترسبة بلفها على طرف قضيب زجاجي • على ما يظهر ان ميشر، بدون معرفة الطبيعة البنيوية لنووينته (nuclein) ، كان قد أدرك ان لهذه صلة ما بالوظيفة الوراثية أو الجينية• وبقي الامر على هذا الوضع حتى عام ١٩٤٤ حين اثبتت تجربة قام بها أو تي

ايفري[٢] (O.T. Avery) أن الشاب السويسري كان قد عزل مادة هي الاساس الكيميائي للخواص الوراثية لجميع الكائنات الحية، ألا وهي حامض النوويك (nucleic acid) •

جاء مستحضر ميشر من النووين بعشرة أعوام بعدما قام داروين بنشر مؤلفه: «حول أصل الانواع»، وبحلول عام ١٨٨٠ كان قد تم التثبت من عملية الانقسام الفتيلي (mitotic process) واقرارها، واكتشف البيولوجيون العاملون بالمجهر الضوئي أن جميع الخلايا تتضمن مادة نووية بعدد معين من وحدات شبه قضيبية أو خيطية تسمى بالكروموسومات أو الصبغوسومات (chromosomes) • والصبغوسومات هي الحاملات لعوامل وراثية نوعية تسمى بالجينات (genes)، وكشفت الدراسات المجهرية التفصيلية طريقة تناسخها في التكاثر الخلوي• وعند عزلها وتحليلها وجد ان هذه الصبغوسومات تتضمن البروتين وحامض النوويك بنسب متساوية تقريبا•

ان حامض النوويك هو المادة البوليمرية الحاوية للفوسفور والموجودة في النووين الذي كان ميشر قد عزله من خلايا القيح في عام ١٨٦٨• واكتشف الكيميائي الالماني البريخت كوسل (Albrecht Kossel) في جامعة هايدلبرغ اثناء عمله على حامض النوويك المأخوذ من الغدد الدرقية (thymus glands) للعجول ان هذا الحامض يتضمن قواعد (bases) نيتروجينية تسمى بالبيورينات purines = مركب عضوي بلوري عديم اللون C5H4N4 ، المادة المولدة لمجموعة مركبات حامض اليوريك uric acid)• وبالبيرميدينات (Pyrimidines = مركب عضوي بلوري سائل عديم اللون C4H4N2 والشكل الجوهري لعدد من القواعد (bases) بعضها هي مكونات او مقومات حامض النوويك)، وقام بعزل وتشخيص مشتقات من كل من هاتين القاعدتين• ولما كان حامض

النوويك بوليمرا يتألف من أربعة أنواع من الوحدات الفرعية فقط (subunits) فانه بدا، مثل النشاء، انه يتكون من جزيئة سلسلية رتيبة طويلة.

خلال العقود القلائل الاولى من هـذا القرن وفيما كان البيولوجيون يعملون على توسيع علم التكوين أو الوراثـة بتوضيح العلاقة الرياضيـة (mathematical relation) للوراثة البيولوجية ، أحرز الكيميـائيون نجاحا كبيرا في ايضاح دور الانزيمات في التحكم بالعمليات الحياتية . لم يملك أي من الفريقين أية دراية جلية بالطبيعة الكيميائيـة للجينـة ولا بكيفية صنع الانزيمات . ثم في السنوات الثلاثينية من هذا القرن قام الخبيران التناسليان الامريكيـان (geneticists) جورج بيدل (George Beadle) وادوارد تيتـم[٣] (Edward Tatem) ، اللذان كانا يعمـلان على العفن الاحمر العـادي للخبز (Neurospora crassa) ، بربط النظريات الداروينية بالكيمياء بالتدليل على أن الانزيمات تتحكم في البنية (structure) والجينـات تتحكم في الانزيمات ، وادركا ان الجينات مدونة (coded) بكيفية ما للانزيمات وطرحا وجود جينـة نوعية لكل أنزيمة.

انها لبراعة باهرة حقا من الخلايا أن تقوم بمكاثرة البروتينات المحتوية على مئات الحوامض الامينية تكرارا وتماما بنفس السياق، ولابد انه تتـم عملية (polymerisation) الحوامض الامينيـة بالضبط بنفس الترتيب (order) في مرسومة أو قالب (template) لكي تتمكن من تمثيل البروتينة مرارا وتكرارا بنفس التركيبة تماما وبمنتهى الدقة ، ولابد أن هذه المرسومات تتضمن في تركيبتها المعلومات الوراثية (heredity information) .

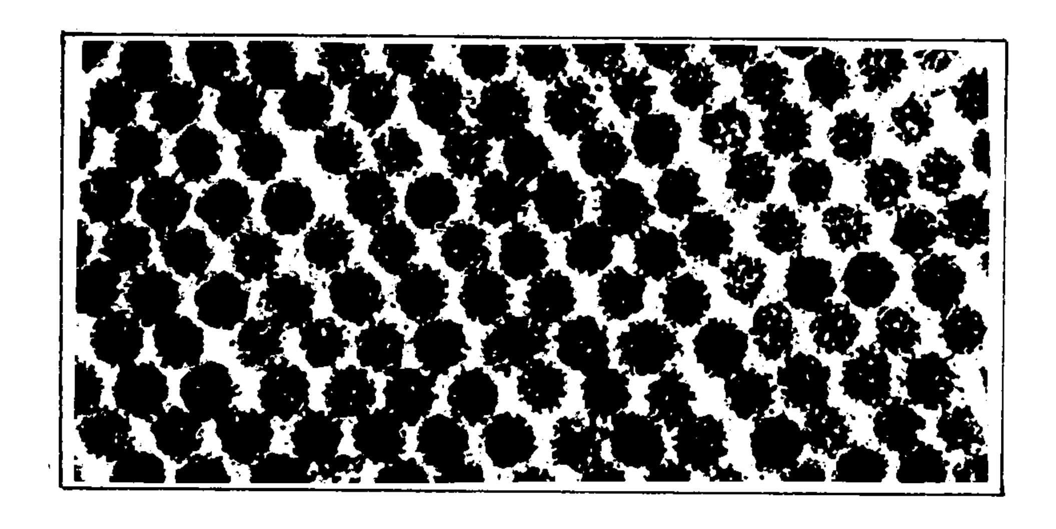
بالنظر الى القدر الهائل من المعلومات التي ستحتاج المتعضيـة اليه في مادتها الوراثية فقد سلم البيولوجيون في العموم بأنه سيترتب على المادة التي

تصبح العامل التكويني أن تتضمن عددا كبيرا من الوحدات الفرعية لتعمل هذه كرسائل أو رموز في الدستور المعلومـاتي (informational code) ، ولما كانت البروتينات تحتوي على أكثر من واحد وعشرين نوعا من الحوامض الامينية فقد بدت هذه الجزيئات الضخمة مناسبة للغاية للقيام بهذا الدور ، وطوال السنوات الثلاثينية ظل أغلب العلماء البيولوجيين والبيوكيميـائيين يعتقدون ان البروتين الموجود في الصبغوسومات كان المادة التكوينية ولم يعيروا حامض النوويك غير أهمية ضئيلة.

وخـلال نفس العقـد ، في عـام ١٩٣٥، أجـرى ويندل ستانلي[٤] (Wendel Stanley) العامل في معهد روكفيلر بنيويورك تجربة مذهلة . فقد قام ببللورة فيروس (virus) . ان الفيروسات كائنات بيولوجيـة تكمن في المنطقة البينية الواقعة بين الخلايا الحية والكيميائيات الجمادية ، وتتألف من البروتين وحامض النوويـك بدون أية مكائن (machinery) خلويـة للتكاثر والتآيض. ولما كانت الفيروسات تنقصها وسائل التوالد فانهـا تتواصـل او تتآبد بطريقة حشر عاملها التكويني (genetic factor) في الخلايا فتستولي على ماكنة الخلية الموبوءة أو المعدوّة لتقوم بانتاج نسخ من الفيروس. لذلك، فان بلورة الفيروس كقدر من الملح أكد للعلماء احتمال امكانية عزل الجينات في النهاية ودراستها كمركبات كيميائيـة (chemical compounds) . وبذلك تقدم اساس الحياة خطوة أقرب الى كونه مسألة كيميائية صرف.

ثم في عـام ١٩٤٤ قـام الفيزيائي الشهير النمســاوي الولادة أرفين شرودينغر[٥] (Eruin Schrödinger) المقيم في دبلين كلاجئ من المانيا النازية، بنشر كتيب صغير بعنوان « ما هي الحياة؟ "What is Life?"» وفي هذا الكتيب شدد على زملائه الفيزيائيين ان البيولوجيا كانت بلغت عتبة مسألة اساس الحياة

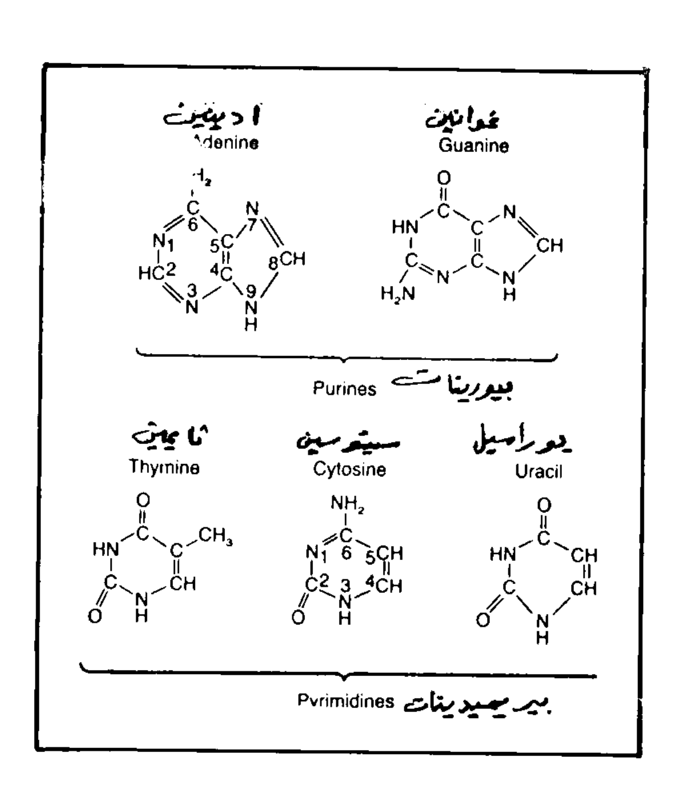
البالغة الخطورة وانه يتوجب عليهم التجلد وعدم التراجع أمام صعوبة تفسير الحياة بمنطوق القوانين الفيزيائية العادية ، وأكد عليهم وجوب السعي الى ايجاد كيفية تمكنهم من تفسير البيولوجيا على المستوى الجزيئي.



الشكل ١/٨ ـ صور ضوئيـة بالمجهر الالكتروني لفيروس الثؤلول البشري. والفيروس قيض (shell) عشريني الاسطح يتضمن دنا DNA. وهذا الفيروس بالذات لا غلاف له، والصورة مكبرة مائة وعشرين (١٢٠) الف مرة.

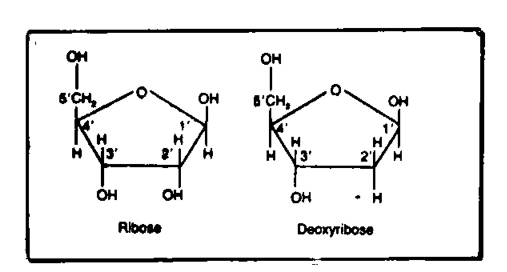
يكمن حل اللغز في الفيروسات التي تغذي البكتيريا والمسماة بأكلة البكتيريا او البكتيرية الاغتذاء (bacteriophages) • ففي عام ١٩٥٢ قام الفريد هيرشي (Alfred Hershey) ومارثا تشيس (Martha Chase) بالتدليل على أن (DNA) آكل البكتيريا يدخل في البكتيرة وانه هو لوحده المسؤول عن تكاثر الفيروسات الجديدة ، وذلك باستعمال الفوسفور والكبريت الاشعاعيين كمعالم لتمييز ومتابعة البيوكيميائيات المعينة• فذهل البيولوجيون لهذه الشواهد الباهرة على أن الشكل الكيميائي للجينات هو حامض النوويك، بعد أن كانوا يعتبرون ان البروتين هو مادة الوراثة • وسجل هذا الاكتشاف بداية علم البيولوجيا الجزيئية (molecular biology) •

عندما قام كوسل (Kossell) بتحليل حامض النوويك في القرن الماضي وجد اثنتين من البيورين (purines) اسماهما بالادينين (adenine أو الغدانين وهو قاعدة بيورينية بلورية بيضاء صيغتها $C_5H_5N_5$ مشتقة من حامض النوويك المتكون في غدة البنكرياس والطحال الخ) والغوانين (guanine = قاعدة عضوية صيغتها $C_5H_5N_5O$ وهي أحد مقومات حامض الريبونوويك ribonucleic acid أو رنأ (RNA) والحامض الخلوي الصبغي دنأ (DNA) وموجودة في جميع الانسجة النباتية والحيوانية)، واثنتين من البريميدين (primidines) اسماهما بالسيتوسين($C_4H_5N_3O$ = قاعدةنيتروجينية cytosine أحد مقومات الحوامض النوويك المختلفة وأحد المواد المكونة للدستور التكويني في جزيئات الدنأ (DNA)، والثايمين(thymine= قاعدة بيريميدينية بلورية بيضاء $C_5H_6N_2O_2$ وأحد المواد المكونة للدستور أو المدونة التكوينية "genetic code" في جزيئات الدنأ•) وبعد ذلك أفضت البحوث التي أجريت على حامض نوويك النبات الى اكتشاف بريميدين ثالثة اسميت باليوراسيل (Uracil— أنظر الشكل ٨|٢)•



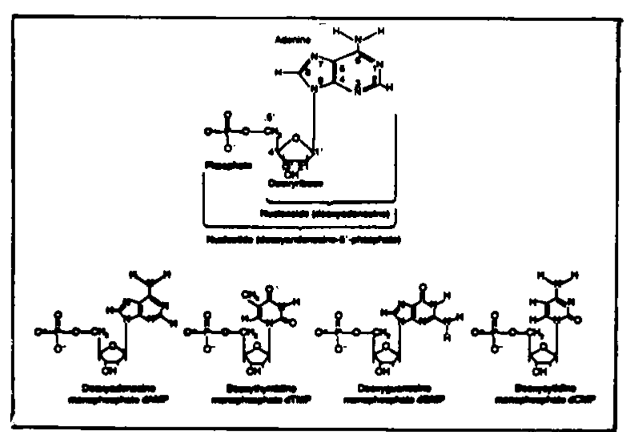
الشكل ٢/٨ ـ بنى الادنين والغوانين والثايمين والسيتوسين واليوراسيل

في عام ١٩١٠ وجد ليڤين (Levine) مـن معهـد روكفيلر ان حوامض النوويك ايضا تضمنت سكرا خماسي الكاربونات (five-carbon sugar) فقد تضمن حامض النوويك من النباتات سكر الريبوز (ribose sugar) بينما تضمن حامض النوويك الحيواني نفس السكر انما ناقصا أوكسجينة واحدة فقط وبناء على ذلك أطلق عليه اسم دي اوكسي ريبوز (Deoxy ribose – أنظر الشكل ٨/٠٣)



الشكل ٨/٣ - بنى الريبوز والدي اوكسي ريبوز

تتألف الوحدات البنيوية لحامض النوويك من قاعدة البيورين والبيوريميدين مربوطة بذرة الكاربون الطرفية (رقم ١) من السكر ويتضمن الجزء السكري مجموعة فوسفاتية ملتصقة به• وهذه المقومات الثلاثة ، أي القاعدة والسكر والفوسفات ، تشكل معا نووتيدة (nucleotide) • وعندما تنضم النووتيدات من خلال دايستر فوسفاتي (phosphate diester) برابط (3'5'-linkage) من سكاكرها فانها تخلق السلاسل الطويلة المعروفة بحوامض النوويك (أنظر الشكل ٨/٤)•



الشكل ٨/٤ - بنى النووتيدات القليلة الاوكسجين أو الدي اوكسي نووتيدات

وسرعان ما بدا واضحا انه يوجد نوعان من حامض النوويك، ويسمى بحامض الدي اوكسي ريبو نوويك deoxy ribonuleic acid المصطلح عليه بالعربية بالحامض الخلوي الصبغي واختصاره دنأ (DNA) (أنظر الشكل ٨\٥)، والنوع الآخر من حامض النوويك ايضا يتضمن أربع قواعد ولكنه احتوى على اليوراسيل (uracil) بدلا من الثايمين (thgymine)، ولما كان سكر اليوراسيل ريبوزا فقد أطلق عليه اسم حامض الريبو نوويك ribonucleic acid ويرمز اليه هنا بالاختصار رنأ RNA على غرار زميله السابق ذكره.

وأخيرا ادرك البيولوجيون ان النوعين من حامض النوويك، الدنأ (DNA) والرنأ (RNA) لا يميزان النباتات والحيوانات بل ان كليهما موجود في جميع الكائنات الحية، وتبين ان المبادىء التكوينية (genetic principles) متواجدة بالاستواء في جميع أشكال الحياة، وان استمرارية المواد الحية من خلال التكاثر مبنية على تكاثرية الجينات التي يجري نسخها ومناولتها من جيل الى جيل، مع كون مادة التوارث هي نفسها في الفيروسات كافة والانسان على حد سواء، وهذه المادة هي المسماة بالدنأ (DNA).

يجري استعمال فقط اربع وحدات كيميائية أساسية لخلق المطبوعة (blueprint) في سياق مدستر (coded sequence) من الوحدات في جزيئة معلوماتية حيث يمكن ان يمتد الوزن الجزيئي الى آلاف الملايين حتى في البكتيريا. يؤلف مقطع من الدنأ جينة تحمل المعلومات لسياق الحوامض الامينية لبروتين معين. ويمكن ان يمتد عدد الجينات في البكتيريا الى الآلاف، ولكنه يبلغ حتى المائة الف (١٠٠ ٠٠٠) في الثدييات.

ان التكاثر الخلوي هو في النهاية تكاثر جزيئي، وتبين ان الطبيعة الفريدة للبنية الكيميائية لحوامض النوويك تتيح لهذه البيوبوليمرات ليتم استنساخها بدقة صادقة. وفي البروكاريوت، مع الدنأ المستدير فيها،

يتآلف التكاثر الخلوي من تناسخ حامض النوويك متبوعا بالانشطار الثنائي لخليتين ابنتين تحمل كل منهما الكمية التامة من المادة الخلوية • ان كيمياء هذه بسيطة ومباشرة ويجب عليها أن تمثل طريقة التناسخ المتخذة في أعقاب نشأة المنظومات الحية الاولى• اما الخلايا اليوكاريوتية ، من جهة أخرى، فتمتلك طرائق تكاثرية دقيقة ومحكمة لدرجة تجعل من المحتم انها قد استغرقت زمنا طويلا جدا للنشوء•

ولكي يتمكن الدنأ أن يكون المستودع المعلوماتي للخلية فانه قد تحتم تواجد طريقة كيميائية لتصنيع النسخ الجزيئية • انما قبل محاولة تفهم كيفية انجاز هذا استلزم الامر تحديد الترتيبة البنيوية التامة والتحقق منها • ان حوامض النوويك هي بولي نووتيدات (Polynucleotides) متواجدة بشكل سلاسل طويلة غير متفرعة ، لكن فقط التضريس الثلاثي الابعاد المضبوط فيها يمكن أن يكشف عن طريقة اشتغال وظيفتها البيولوجية • وهذا أطلق البحوث للكشف عن سر ريازة الدنأ (DNA Architecture) •

في عام ١٩٥٠ حقق أروين تشارغاف (Erwin Chargaff) وتلاميذه في جامعة كولامبيا اكتشافا غريبا • فقد لاحظ هؤلاء بعد تحليل تركيبة البيورين والبريميدين في الدنأ المختلفة بعناية فائقة ان عدد قواعد الادنين تقريبا دائما تتساوى مع عدد الثايمينات، وان عدد قواعد الغوانين والسيتوسين ايضا كان تقريبا متساويا• وبعبارة أوضح وجدوا أن (ملاحظة: يجب قراءة المعادلات والصيغ الرياضية دائما من اليسار الى اليمين، سواء كانت بالاعداد أو الحروف) وجدوا أن A=T و G=C، وكانت هذه هي الحال بالرغم من التفاوتات الكبيرة في مقادير A=T بالنسبة الى G=C في الدنأ المختلفة•

وفيما كان مختبر تشارغاف يقوم بتحليل التركيبة القاعدية للدنأ ، كان روزالند فرنكلين (Rosalind Franklin) وموريس ويلكنز (Maurice Wilkins)

من كليـــة الملك بلندن يستخدمـــان كريستـــالوغرافيـــا الاشعـــة السينيـــة (x-ray crystallography) للحصول على بعض المقايسات الدقيقة للدنأ • وفي كاليفورنيا قام لاينس بولينك (Linus Pauling) وزملاؤه[٧] في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا بمحاولة لحل مشكلة بنية الدنأ باستخدام أطوال وزوايا الروابط الخاصة بالمناظرين الكميين (quantum theorists) للاهتداء بها في تشييد نماذج ذرية (atomic models) • كانت كلتا جماعتي كيميائيي لندن ومعهد كاليفورنيا تميل الى الاعتقاد بأن جزيئة الدنأ تتضمن ثلاث سلاسل بولي نووتيدية•

الشكل ٨/٥ — جزء رباعي النووتيدة من وهن واحد من الدي ان اي يتالف من دي اوكسي نووتيدات الادنين (A) ، والثايمين (T) والسيتوسين (C) والغوانين.

كانت الروابط الهيدروجينية هي قوة الاجتذاب الرئيسة التي بوسعهاأن تمسك اوهان البولي نووتيد معاء لكن الاربطة الهيدروجينية ضعيفة بالمقارنة بالاربطة الثنائية التكافؤ ، ويتطلب قوة بقدر ١٢ الى ٢٤ كيلو جول بالمولة KJ/mole) = (الكيلوجـول الواحـد= ٠ر٢٣٩ كيلوسعرة او كالوري والمولة Mole هي الجزيئي الغرامي، ويرمز الى هذه لاحقا هنا بـ كج للكيلوجول ، وكج/م للكيلوجول بالمولة) لكسر رابط ثنائي التكافؤ ، بينما تكفي طـاقة تتراوح ما بين واحد الى ثلاثة (١ـ٣) كج/م لكسر الاربطة الهيدروجينية• مع ذلك ، للاربطة الهيدروجينية أهمية عظمى في البيولوجيا لكونها بالاصل مسؤولةعن نوعية (specificity) التفاعلات ما بين الجزيئات الضخمة (Macromolecules)

من بين المسائل الخطيرة المحرجة حول بنية الدنأ كانت هل ان القواعد متجهة الى الخارج أو الى مركز الجزيئة • اقترح بولينك انها كانت متجهة نحو الخارج، لكن روزالند فرانكلين شعرت انها تملك الشواهـد على ان الفوسفات كانت متجهة نحو الخارج وان القواعد كانت متجهة نحو المركز•

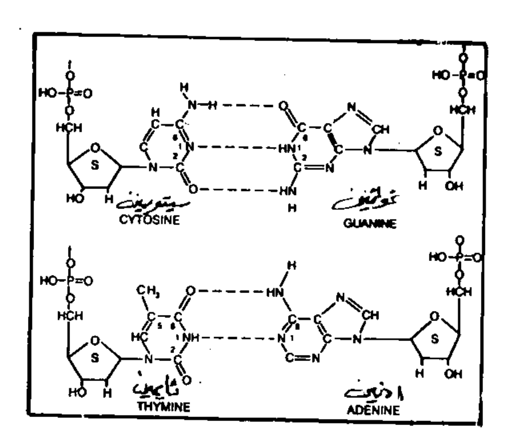
كان هذا هو الوضع القائم في عام ١٩٥١ عندما وصل جيمز واطسون (James Watson) ، وهو زميـل امريكي في الثانية والعشرين من عمره في الدراسات العليا لما بعد الدكتوراه، وصل الى كمبرج والتقى بفرنسيس كريك (Francis Crick) وهو فيزيائي يعمل للحصـول على درجـة الدكتوراه في الفيزياء الحيوية او البيوفيزياء• ورغم ان كريك كان في الظاهر يعمل في البحوث الخاصة بالبروتين وان واطسون كان مركزا اهتمامه في بنية فيروس موزائيك التبغ (Tobacco Mosaic Virus)، فان كليهما كان شديد الاهتمـام بالدنأ واعتزما على التعاون معا على حل لغز بنيته•

كشفت انماط الحيود (diffraction) للاشعـة السينيـة لفرانكلين عن تضريس منتظم ومتراص، وكان بولينك قد دلل على ان البنية اللولبية هي

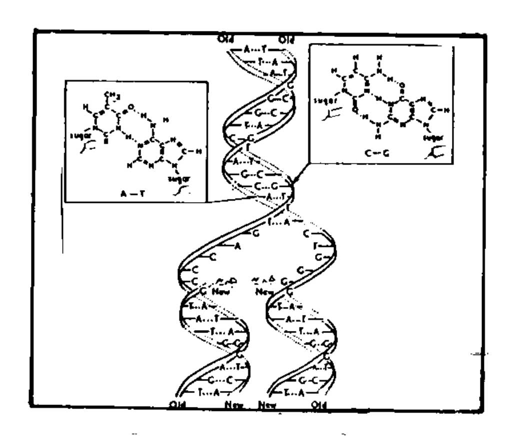
التضريسة المفضلة للجزيئات الضخمة ، وهذا الهب شغف كريك باللولبيات أو الحلزونيات (helix) • لكن المسألة الخطيرة الاهمية كانت الاساس الكيميائي للطريقة التي تستخدمها المتعضيات لاستنساخ الدنأ الخاص بهاء على ما يظهر كان للبيورينات والبريميدينات أهميتها الخاصة بها • واستنادا الى التعليل ان الطبيعة تنزع الى عمل الاشياء في ازواج، نبذ واطسون فكرة الثلاثية الاوهان وارتأى انه من الاكثر معقولية بناء نموذج من وهنين مفتولين على بعضهما مع القواعد موجهة نحو المركز، وبعدما عمل قطعا من المقوى لتمثيل القواعد الاربع حاول بناء نموذج بالاربطة الهيدروجينية مع كل قاعدةمواجهة لقاعدة مماثلة بحسب ما أمكن تصور حصول عملية نسخ وهن من الاوهان• لكن هذا النموذج لم يأت متراصا كما تبين من الدراسات بالاشعة السينية• وكما أشار جيري دوناهيو (Jerry Donahue) وهو خبير كريستالوغرافي امريكي يعمل بنفس المختبر، كان واطسون ، تماما كجميع الآخرين، يستخدم الشكل التعادلي التماثلي (tautomeric)الخاطىء للقواعد، وشعر دوناهيو ان القواعد تواجدت بشكل الكيتو (Keto)وليس بشكل الاينول (Enol) •

(ملاحظة: Keto هي البادئة الدالة على الكيتون Keton وهو مركب كيميائي عضوي يتضمن مجموعة الكاربونيلات carbonyls الثنائية التكافؤ COبالاتحاد مع اساسينهيدروكاربونيين اثنين —2 hydrocarbon radicals— اما الاينول Enolفهو الشكل التماثلي التعادلي لمركب compound يتضمن المجموعة —(>C:C(OH)•) •

وبناء على هذا قام واطسون باعداد قصاصات مقوى جديدة وحاول مرة أخرى تركيب الازواج القاعدية لاعداد نموذجه، وفي هذه النقطة اكتشف ان القصاصات الخاصة بالادنين مع الثايمين كانت من نفس شكل وحجم قصاصات الغوانين مع السيتوسين، وعلى حين غرة اتضح له مغزى نسبتي تشارغاف: A=T ، G:C •



الشكل ٦/٨ ـ ترتيبة ازواج النووتيد في الدنا DNA



الشكل ٧/٨ ـ رسم ايضاحي يبين انفكاك تلافيف جزيئة الدنا وتناسخها.

ونظرا لامكانية مسك أزواج الادنين-ثايمين والغوانين-ستوسين معا على الاقل برابطين هيدروجينيين اثنين لاعطاء أشكال متطابقة التشابه تقريبا فان النموذج سيكون متمشيا مع الترتيبة المتراصة المبينة في التحليل بالاشعة السينية • وبدلا من الاستنساخ من خلال توليفة المثل-مثل كشف النموذج عن ان جزيئة الدنأ تتألف من وهنين اثنين من سلاسل البولي نووتيد مفتولين في لولب مزدوج ممسوكا معا بالاربطة بين القواعد المتتامة ، مع أحد الوهنين يقوم بوظيفة «السالب» والآخر بوظيفة الموجب• وامكن تحقيق الاستنساخ بفك التلافيف حين أصبح كل وهن مفرد مرسومة (template) للوهن المتتام الجديد (أنظر الشكل ٨|٧)•

وخلال ثمانية عشر شهرا كان واطسون وكريك قد شيدا نموذجا للدنأ مطابقا للبيانات الفيزيائية أظهر ليس فقط الشكل الثلاثي الابعاد للدنأ وانما ايضا الطريقة التي تناسخت الجزيئة بها• وبما ان نتائجهما نشرت للمرة الاولى في عام ١٩٥٣[٨] فقد تراكم قدر كبير من الشواهد يؤيد بنيتهما المقترحة ، لتبرز الاعجب من بينها طريقة آرثر كورنبرج[٩] Arther Kornberg لتمثيل جزيئة دنأ نشيطة بيولوجيا في أنبوبة اختبار•



الفصل التاسع ـ من المطبوعة الى المتعضية

أطلقت تجربة ميلر الافتعالية للاحوال الجويـة على الارض البدائيـة البحوث حول كيفية ابتداء الحياة ، وذلك بايضاح الطريقة التي تكونت بهـا اللبنات البنائية قبل ظهور الخلايا الاولى • ومن بين هذه اللبنات البنائيـة هي النووتيدات (nucleotides) التي تلتئم ببعضها لتشكل حوامض النوويك (nucleic acids)، وحـامض النوويك (دنأ DNA) هو الاســاس الجزيئي لقدرة الحياة على التكاثر • لكن الدنأ ليس سوى جزيئة معلوماتية كما هي الحال بالنسبة الى شريط الكومبيوتر ، والبروتينات ، بتنويعتها وأدوارهـا الهائلة، هي الكيماويات الاكثر مباشرة مطلقا والمسؤولة عن شكل، وتركيبة ووظيفية المتعضية • يتم انجاز الغرض البيولوجي للدنأ بنقل المعلومات المدونة في بنيته الكيميائية وترجمتها الى بنى بروتينية• فكيف اذن يتم خلق البروتينات من بنية الدنأ؟

يوجد نوعان من حوامض النوويك هما الدنأ والرنأ• والدنأ هو الجزيئة التي تعمل كمستودع للمعلومات الوراثية ويتواجد في نواة الخلية • أما الرنأ، من جهة أخرى، فيتواجد في كل من النواة والسيتوبلازمة معا• يحصل تمثيل البروتين في السيتوبلازمة • وحتى في السنوات الاربعينية من هذا القرن، ابان كان لا يزال يجهل ان الدنأ هو مادة الجينات ، دلت البحوث التي قام بها توربيون كاسبرسن[١] (Torbjorn Casperson) في ستوكهولم وجان براخت[٢] (Jean Bracht) في بروكسيل على ان الرنأ يدخل بكيفية ما في تمثيـل البروتين•

في عام ١٩٥٠ تمكن هنري برزوك وزملاؤه[٣] (Henry Borzook) من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا ، وتوره هوتلين (Tore Hutlin) من معهد وينرـ غرين

بستوكهولم، كل جانب على حدة ومستقل عن الآخر ، من تشخيص الميكروسومات التي سميت لاحقا بالريبوسومات (ribosomes) في السيتوبلازمة كالموقع الذي يتم تمثيل البروتين فيه. لا يعمل الدنأ مباشرة كمرسومة (template) لتمثيل البروتين ، انما بدلا من ذلك، تجري ترجمة سياق الدنأ الى جزيئة رنأ التي يجري نسخها من الدنأ بنفس الطريقة التي يتم بها استنساخ الدنأ، ونسخة الرنأ من الدنأ هي الرنأ الرسول (mRNA messenger RNA=) التي تحمل المعلومات الوراثية في سياقها الى الريبوسومة لترجمتها الى سياق الحوامض الامينية من البولي هضميتيد (polypeptides) :

دنأ: DNA —(نسخ)→ mRNA —(ترجمة)→ protein بروتين

ribosome
ريبوسومة

في اواسط الخمسينات من هذا القرن ظن البيولوجيون ان الرنأ الريبوسومية هي بالذات المرسومة (template) لتمثيل البروتين وتضمنت الفجوات او الثقوب التي كانت متممة لشكل الحوامض الامينية التي يتم منها تشييد البروتين. لكن لم يتمكن أحد من تشييد نموذج من الرنأ مع الثقوب المعينة يمكن تصوريا ان يعمل بمثابة مرسومة . وكان فرنسيس كريك هو الذي أدرك ان الحوامض الامينية لا تجتلس (fitin) مباشرة في جزيئة المرسومة وانما تحتاج الى جزيئة موضبة (adapter) نوعية للحامض الاميني الذي يميز الموقع المخصوص في المرسومة.

كان ماهلون هوغلاند (Mahlon Hoagland) من جامعة هارفارد قد اكتشف صنفا من الرنأ تعذر ترسيبه بعملية النبذ المركزي (centrifugation)

وظل ذائبا في المحلول، وبالنتيجة اطلق ماهلون على هذه اسم الرنأ الذائبة، غير انه لم يمض وقت طويل قبل أن يدرك البيولوجيـون أن رنأ هوغلانـد الذائبة كانت هي نفسها جزيئات كريك الموضبة، وخلال فترة قصيرة تم ايجاد رنأ ذائبة نوعية لكل من الحوامض الامينية العشرين، وطبقا لدورها الفعلي، اصبحت تعرف باسم رنأ الناقلة (transfer RNAs=tRNAs) •

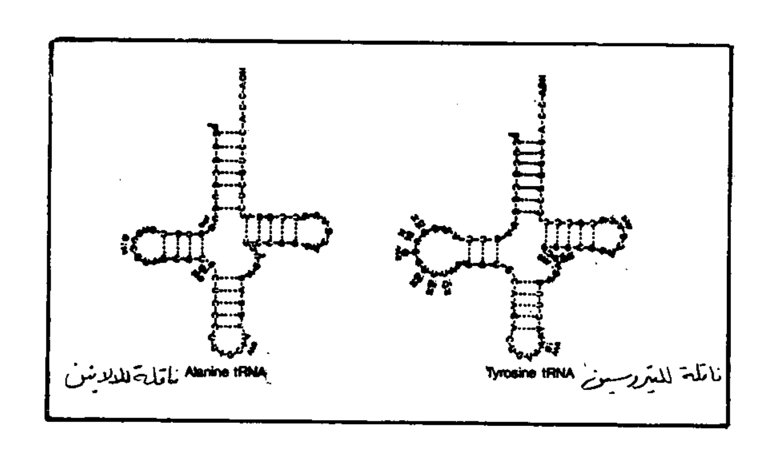
وعند تسييق أو ترتيب سياق جزيئات الرنأ الناقلة تبين ان جميعهـا تضمنت (CCA) في نهاية البولي نوكليوتيد التي تحتوي على السكر مع مجموعة دايدروكسيل (dydroxyl group) سائبة على ٣ــكاربون (3'- carbon) ، وهي النهاية التي يرتبط بها الحامض الاميني• ايضا، لما كانت نسبة A/U و G/C تناهز التساوي، فانه توجد امكانية ازدواج (pairing) قاعدي كبيرة بضمن الجزيئة • كما لاحظ روبرت هولي وزمـلاؤه[٤] (Robert Holley) بجـامعة كورنيل ان الرنأ الناقلة تحتوي على عدد من القواعد اللاعادية التي تختلف عن الادنين والغوانين والسيتوسين واليوراسيل باستبدالها بمجموعة واحدة أو أكثر من مجموعات ميثيل (methyl groups) في مواضع مختلفة في بنياتها•

كان روبرت هولي وآخرون قد انجزوا تحليلا تاما لرنأ ناقلة للالانين (alanine) في عام ١٩٤٥، وفي العـام التالي أعلن مـاديسون (Madison) وزملاؤه[٥] عن اكتشاف سياق النوكليوتيد في رنأ خميرية نـاقلة للتيروسين tyrosine • (ملاحظة : alanine : حامض اميني طبيعي غير جوهري صيغته CH3 CH(NH2)COOH، بلور شفاف يذوب في الماء ويستخدم في البحوث الكيميائية وفي دراسات تآيض الحوامض الامينية • tyrosine حامض اميني بلوري ابيض غير جوهري صيغته $C_9H_{11}NO_3$ ، يتكون من تفسخ البروتينات كما في انتنان الجبنة)• كانت البنيتان المقترحتان لهذين الرنأ الناقلين همـا

تضريسة ورقة البرسيم (clover-leaf configuration) ممسوكتـان معا بروابط هيدروجينيـة مع قواعد (CCA) في موضع ثلاثي التكافؤ (3') وتنشزان بارزتين • وقد تم منذ ذلك الحين التثبت من سياقات حوالي خمس وسبعين (٧٥) جزيئة رنأ، ويمكن تنظيمها جميعها في نفس طية ورقة البرسيم•

تتضمن الانشوطة الوسطية من ورقة البرسيم في النهاية المقابلة من (CCA) ثالوثا من القواعد اللامزدوجة التي تشكل كودونـة مضادة (anticodon)

والكودونة codon = مجموعة صغيرة من الوحدات الكيميائيـة تتألف من سياق ثلاث نووتيدات تقوم بتدوين دمج حامض اميني معين في جزيئة بروتينية اثناء تمثيل البروتين)• وهذه القواعد الثلاث هي متممة لثالوث القواعد في الرنأ الرسول (mRNA) التي تمثل كودونة (codon) ، أو كلمة واحدة مـن المعلومات الموجودة في الرنأ الرسول والتي تترجم الى حامض اميني واحد• تتراوح الرنأ الناقلة (tRNA) في عدد النووتيدات من (٧٤) و(٩١)، ولكن من بين جزيئات الرنأ الناقلة المختلفة تبدو المسافة الاجمـالية من النهاية عند (CCA) الى الكودونة المضادة في النهاية الاخرى ثابتة ، ويتم تعويض الفارق في عدد النووتيدات بحجم الانشوطة الصغيرة الكائنة بين الطرفين (limbs) الايمن والاسفل • كذلك، تقع القواعد اللاعادية في مناطق لا تشكل الاربطة الهيدروجينية • وعلى نقيض الاشكال الاخـرى من الحوامض النوويـة ، يتوجب على الرنأ الناقلة أن تتألف من بنية ثلاثية الابعاد نوعية للغاية ، وهي من هذه الوجهة في الواقع تشبه البروتينات•



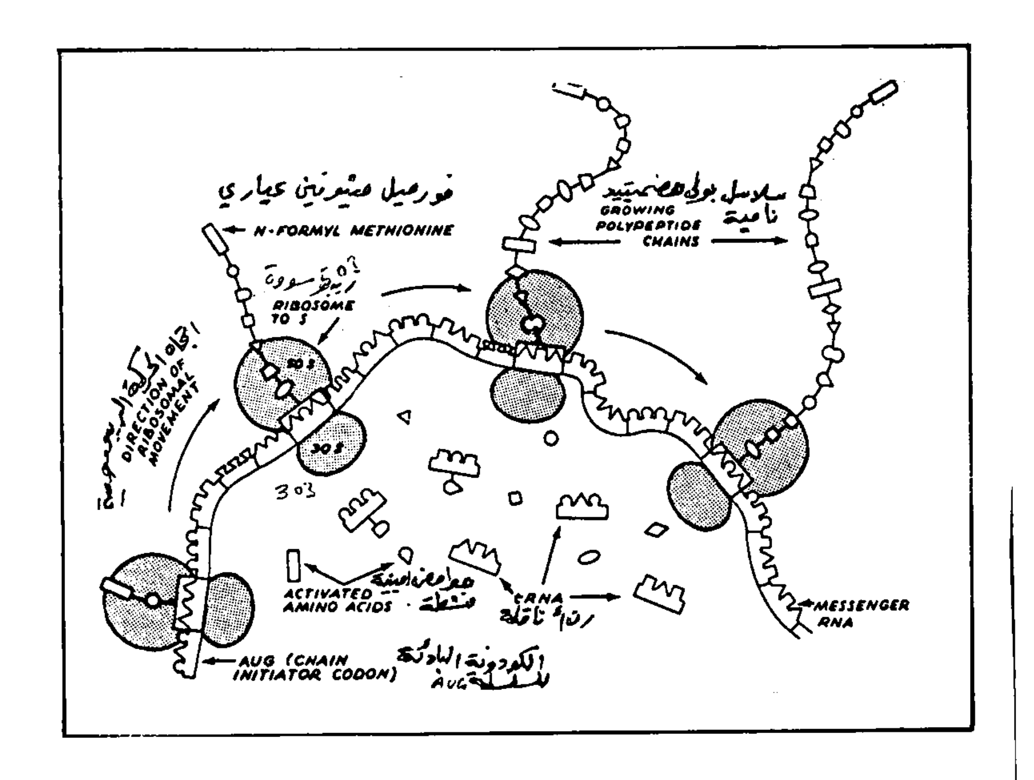
Alanine tRNA Tyrosine tRNA

الشكل ١/٩ ــ البنية المقترحة للرنا الناقلة للالانين والرنا الناقلة للتيروسين.

يجري اعداد الحوامض الامينية للاستخدام في تمثيل البروتين بتنشيطها في تفاعل مع ثلاثي فوسفات الادنوسين (اتب) (adenosine triphosphate ATP) الذي يستلزم الانزيمة امينواسيتيل رنا سنثيتاز (aminoacetyl RNA synthetase) فيكون الناتج عقدة او تشبيكة (complex) منشطة من الحامض الاميني انزيم ــ امب (enzyme-AMP) الذي ترتبط فيه مجموعة خماسي الفوسفات (5'- phosphate) من الادنوسين الاحادي الفوسفات = (أمب) (AMP=adenosine monophosphate) كأنهدريد مختلط (mixed anhydride) بمجموعة الكربوكسيل (carboxyl) من الحامض الاميني. ويتم شطر البيروفوسفات (prophosphate) من الأتب (ATP) المنشط في العملية، على هذا النحو:

وفي الخطوة التالية يجري نقل جزيئات الحامض الاميني المنشط بواسطة انزيمة أخرى الرنأ الناقلة النظيرة او الوفيقة (corresponding) • توجد رنأ ناقلة خاصة لكل حامض اميني، وانزيمة نوعية (specific) لكل حامض اميني يجري ضمه الى الرنأ الناقلة• بعدذلك تنتقل عقدة الرنأ الناقلة (t RNA complef) المتضمنة للحامض الاميني الى ريبوسومة (ribosome =جسيمة كروية دقيقة تتالف من الرنأ والبروتينات ، ومتواجدة بأعداد كبرى في سيتوبلازمة الخلايا• ويتم تصنيع أو تمثيل البروتينات على السطح الريبوسومي بعد نقل التعليمات التكوينية الى هناك من قبل الرنأ الرسول)•

بعدما تتكون الرنأ الرسول من الدنأ وتنتقل الى سيتوبلازمة فيها ريبوسومات تنضم اليها الكودونة البادئة للسلسلة (AUG) (chain initiator codon) التي على سبيل المثال تقوم بربط الرنأ الناقلة فورميل مثيونيل العيارية (—N-formyl- methionyl-tRNA) • تنتقل الريبوسومة في سلسلة الرنأ الرسول بقدر كودونة واحدة في المرة الواحدة متقبلة عقدة الرنأ الناقلة المعينة المتوافقة مع الكودونة، وموصلة الحامض الاميني بسلسلة الهضميتيد (peptide) النامية • تواصل سلسلة الهضميتيد نموها فيما تنتقل الريبوسومة على امتداد الرنأ الرسول ، وبهذه الطريقة تتمكن رنأ رسول مفردة واحدة من خدمة ست أو ثماني ريبوسومات بنفس الوقت• يوجد موقع نوعي واحد فقط في الريبوسومة يمكن لرابط الهضميتيد أن يتكون فيه، انما تنمو سلسلة بولي هضميتيد واحدة من كل ريبوسومة متنقلة على الرنأ الرسول ، ويتراوح معدل طول كل منها ما بين (١٢٥) الى (٤٠٠) حامض اميني•



الشكل ٢/٩ صورة ايضاحية للريبوسومات متنقلــة على رنأ رسول، وتقوم بتمثيل البولي هضميتيدات.

يقوم سياق قواعد البيورين والبريميدين في وهن (strand) الرنأ الرسول، المنسوخ بالاصل من الدنأ النووي، بتوجيه ترتيبة الحوامض الامينيــة في عملية تمثيل البروتينات . وهذه المعلومات المحمولة في الرنأ الرسول ليست في نووتيدات مفردة ، وانما تكمن في سياقات من ثلاث نووتيدات، أو ثالوث نووتيدي. وعليه فان المدونة التكوينية (genetic code) تتألف من ثالوثــات triplets) لا متداخلة تقع في سلسلة الرنأ الرسول ، وكل ثالوث يؤلف كلمة رمزية ، أو كودونة.

بعد الفراغ من حل مسألة كيفية تخزين المعلومات الوراثية في الدنأ ، ونقلها الى الرنأ الرسول، وترجمتها الى بنية بروتينية، بقي أمر فك رموز المدونة بذاتها. فأية نووتيدات تتناظر أو تتوافق مع أية حوامض امينية؟

كان نيرنبرغ (M.W. Nirenberg) وماثائيل[٧] (J.H. Mathael) في عام ١٩٦١ أول من تمكن من فك رموز كودونة . فقد اكتشفا ان البولي نووتيدة الاصطناعية (synthetic) المتضمنة فقط لحامض اليوريدليك، البولي يوريدليك (uridylic, polyuridylic acid) يمكن أن تقوم مقام مرسومة للريبوسومات المعزولة من البكتيرة اي كولي (E. Coli) .وعند مزج البولي يو (poly U) بمستحضرات الريبوسوم واضافة جزيئات الرنأ الناقلة بعد ذلك، كل منها مع حامضها الاميني النوعي، تم تمثيل بولي هضميتيدة احتوت فقط على الفنيل الانين (phenyl alanine) ومن هذا تمكنا الاستنتاج ان الكودونة للفنيل الانين كانت الثلاثي UUU.

وفي تجارب مماثلة قامت GUU بتوجيه عملية تمثيل البولي هضميتيدات المحتوية على الفالين (Valine) ، وكانت UGU الكلمة الرمز للسيستين (cysteine) ، وUUG للوسين (leucine) . وفي الاخير، باستعمال كتل من البوليمرات المتوازية ، وهي بولي نووتيدات ذوات سياقات متكررة لقاعدتين او ثلاث قواعد، تم فك كل رموز المدونة التكوينية برمتها.

الرسالة الثانية SECOND LETTER

الرسالة الأولى FIRST LETTER — الرسالة الثالثة THIRD LETTER

FIRST LETTER	U		C		A		G		THIRD LETTER
U	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	U
	UUC		UCC		UAC		UGC		C
	UUA	Leu	UCA		UAA	OCHRE	UGA	UMBER	A
	UUG		UCG		UAG	AMBER	UGG	Tryp	G
C	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	U
	CUC		CCC		CAC		CGC		C
	CUA		CCA		CAA	GluN	CGA		A
	CUG		CCG		CAG		CGG		G
A	AUU	Ileu	ACU	Thr	AAU	AspN	AGU	Ser	U
	AUC		ACC		AAC		AGC		C
	AUA		ACA		AAA	Lys	AGA	Arg	A
	AUG	Met	ACG		AAG		AGG		G
G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	U
	GUC		GCC		GAC		GGC		C
	GUA		GCA		GAA	Glu	GGA		A
	GUG		GCG		GAG		GGG		G

الشكل ٣/٩ ـ المدونة التكوينية • Genetic Code
UAA a امفر ، UAG عنبر ، UGA اظلم، هذه هي الكودونات المتضمنة للسلاسل • تستخدم AUG بمثابة الكودونة البادئة للسلسلة وتمثل الفورميل مثيونين في بكتيرة ئي كولي• E. coli • وفي الوسط سلسلة بروتين تمثل المثيونين•

وكنتيجة للدراسات العديدة الاضافية تبين ان الحوامض الامينية تحتوي ليس فقط على ثواليث مخصصة لها وانما وجدت فيها ايضا كودوناتتتضمن تعليمات خاصة • وعندما اكتشف البيولوجيون أن جميع البروتينات التي تقوم بكتيرة أي كولي بتمثيلها تضم عياري ــ فورميل مثيونين بمثابة عيار ــ فضلة الحامض الاميني النهائية ادركوا ان AUG كانت الكودونة البادئة او المحركة (initiator) تبدأ جميع البولي هضميتيدات بعياري ــ فورميل مثيونين الذي

يمكن استبقاؤه أو ازالته في وقت لاحق. تتضمن ثلاثة حوامض امينية ست كودونات ، وخمسة اربع كودونات، وعشرة كودوتين اثنتين • اما الثواليث UAA.a ، UAG ، UGA، فوظيفتها انهاء السلاسل، أي تبرق أو ترسل الاشارة الى الهضميتيدة لتنتهي في تلك النقطة.

وعلى نقيض البروتينات ، ان حوامض النوويك جزيئات شديدة عفية وهي مستقرة في الحوامض والقلويات اللطيفة أو المعتدلة ويمكن تسخينها تقريبا حتى درجة الحرارة مائة (١٠٠°) مئوية ، وهي أحوال تتحطم فيها البنى البروتينية الرقيقة الطرية ولا تتحملها. ولما كان بالامكان حلمأة البيوبوليمرات الاخرى بدون المساس بحوامض النوويك ، فان هذه الخاصية تسهل أمرعزل الدنأ والرنأ من المكونات الخلوية المختلفة • وخاصية أخرى ايضا تسهل من امر تنقية الدنأ هي، على نقيض البروتين ، انه يوجد نوع واحد فقطمن الدنأ في المتعضية الواحدة.

كل من الدنأ والبروتينات هي بوليمرات مبنية من وحدات فرعية نشأت لاغراض مختلفة • تحتاج البروتينات الى شكل وأصناف مختلفة من المجموعات الوظيفية لكي تتمكن من تحقيق النوعوية (specificity) وانجاز الانشطة الكيميائية • ولتحصيل هذه تطلبت تنويعة من الوحدات الفرعية ، ووجدتها في الحوامض الامينية البالغ عددها عشرين او حوالي ذلك. أما الدنأ، من جهة أخرى، فلم تحتج الى أشكال عديدة ، انما احتاجت فقطالى تخزين المعلومات ، ولتحقيق هذا الغرض توفر لها اختيارا • فقد كان بوسعها أن تستخدم الفباء كبيرة (ووحدات فرعية) ومعجما او عددا من «الكلمات» كبيراً، او كان بوسعها استعمال مجرد بضع رسائل تجعل الجزيئة المعلوماتية فيها طويلة للغاية • وفي النهاية اختيارات المنظومات البيولوجية دنأ تتألف من مجرد اربع وحدات فرعية واستخدمت كلمات ثلاثية الاحرف مع معجم سعته

فقط أربع وستون (٦٤) كلمة. مع ذلك، فان ورد رسالة الحياة يبدو ابديا، اذ، في الاغلب، يمتد عدد الوحدات في جزيئات الدنأ الى آلاف الملايين في الواقع.

يمكن الجدل ان هذا هو كل ما احتاجت اليه الدنأ لايواء عشرين حامضا امينيا. لكن يوجد العديد من الحوامض الامينية الاخرى، غير هذه العشرين كان بالامكان تبنيها كبروتينات. انما يقينا ان دنأ مشيدة من اربعة انواع من النووتيدات بدت وافية بالغرض وربما كانت الصنف الذي أثبت جدارته وتفوقه على الترتيبات الاخرى الاكثر تعقيدا بكونه أكثر بساطة واكثر استقرارا مع كونه متراصا ومحكما. وربما لم تتواجد فائدة تجنى من استخدام انواع اكثر من الحوامض الامينية لما كانت عشرون منها كافية للغرض المنشود.

غير ان الجواب على هذا ربما يعود الى سبب آخر. فقد كان بوسع الخلية الناهضة أن تشيد بروتيناتها وحوامضها النوويك من نخبة من الحوامض الامينية والنووتيدات المتوفرة في البيئة البدائية. غير انه ما ان التزمت الخلايا بنظام بيولوجي مكين ما حتى أصبح متعذرا عليها استدماج المزيد من اللبنات البنائية. وربما ان الحوامض الامينية والنووتيدات المختارة كانت الوحيدة المتوفرة في بيئة الارض البدائية.



الفصل العاشر ـ خيط متواصل

ان جميع الكائنات الحية الموجودة على وجه الارض مشدودة بخيط نشوء تطوري لا مرئي يمتد متواصلا بلا انقطاع الى جذور بداية الحياة الاولى. وهذا الخيط هو جزيئة الدي ن أ الموجودة في كل خلية من خلايانا والتي تحمل المعلومات التكوينية لتشييد كياننا الحي بذاته . لقد تواجدت هذه الجزيئة منذ لحظة اختلاق أول الخلايا الحية قبل أكثر من ثلاثة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت، ومرت في اثنائها بتغييرات وتطويلات ، وظلت تتناسخ جيلا بعد جيل بلا انقطاع حتى يومنا هذا . تبقت التغييرات القليلة التي وقعت في الجزيئة وتناقلت عبر الاجيال المتعاقبة ، وكل تغيير وقع في جزيئة الدن أ انعكس في تغيير في بروتينتها المترجمة عن بنيتها.

توجد انواع كثيرة من البروتينات في الخلية الوظيفيـة تقوم بأداء أو متابعة جوهرية جميع التفاعلات البيوكيميائية . فالبروتينات هي التي تسيطر وتتحكم في جميع العمليات التأيضيـة ومنبع او قـالب (matrix) العظـام والاقياض، ونقل المتفاعلات او العوامل التفاعليـة (reactants) ، وتمثيل او تصنيع المقومات ، وحتى في اشكال جميع المنظومات البيولوجية وخواصهـا الآلية أو الميكانيكية ، وكل بروتينة مكيفة بدقة ببنيتهـا الكيميائيـة لاداء دورها النوعي، وبنيتها الكيميائية بدورها هي التعبير المباشر لترتيبة الحوامض الامينية المختلفة الموجودة في سلسلتها. وعليه فان أي تغيير يحصل في تركيبة الحوامض الامينية في البروتينة يكون له في معظم الاحيان اثر بالغ على كل الخلية أو المتعضية برمتها. مع ذلك، فهذا هو أساس التطور ، وبدونه لا يمكن للحياة أن تنشأ وتنمو مطلقا.

ان قابلية الجهاز (genetic apparatus) للتبدلات الكبرى (mutability)

هي التي تؤدي الى حصول التغيير في البروتينات • تؤلف الجينة قطعة او شدفة (segment) من جزيئة الدنأ وتحمل الرسالة المرموزة لتمثيل بولي هضميتيدة واحدة ، وهي بولي هضميتيدة ربما تكون هي بذاتها بروتينة ، أو ربما تتآلف أو تتحد مع بولي هضميتيدات أخرى لتشكل بروتينة• وعليه فاذا تغيرت نووتيدة بفعل التبدل الفجائي (mutation) في باطن الجينة يؤدي ذلك الى احداث تغيير في احدى الرسائل المرموزة فتجري قراءتها لحامض اميني مختلف يفضي بدوره الى حصول استبدال في السلسلة الهضميتيدية اثناء تمثيل البروتينة • تنجم التبدلات الكبرى أو الفجائية في العموم عن انخفاض المستوى الخلفي للاشعاعية الطبيعية ، انما يمكن ايضا أن تتسبب عن فعل بعض الكيماويات•

هذا هو التبدل الكبير على ابسط المستويات وعلى نطاق بولي هضميتيدات مفردة • ويمكن عزو تنوع وتعدد الاصناف والانواع التكوينية (genotypes) الى اختلاف المضمومات الاليلية allèle combinations) • والاليل allèle =أي من زوجين من الجينات يقعان في نفس الموضع من كلا زوج من الصبغوسومات وظيفته نقل الخلايا أو الخصائل المتوارثة)، أوالتبادل الصبغوسومي، أو الانقلاب (inversion) ، أو تغير ترتيب المضمومة (recombination) ، أو تعدد جموع الصبغوسومات (polyploidy)• وبالنتيجة ، ما عدا في حالات التوأمين (twins) ، لا يوجد بين الانواع المتقدمة فردان متطابقا السمات تماما • وهذه التعقدية في التكاثر جاءت بمجموعة أو طقم جديد (new set) من التبدلات الكبرى حصلت عن الاخطاء التي تقع في الطريقة المتبعة، ويعير خبراء النشوء الجزيئي (Molecular Evolutionists) اهتماما كبيرا لمثل هذه التبدلات في جزيئة الدنأ المفضية الى استبدال حامض اميني واحد في البروتينة المفردة • وهذا كيميائيا اكثر بساطة ويمكن دراسته تحليليا ورياضيا•

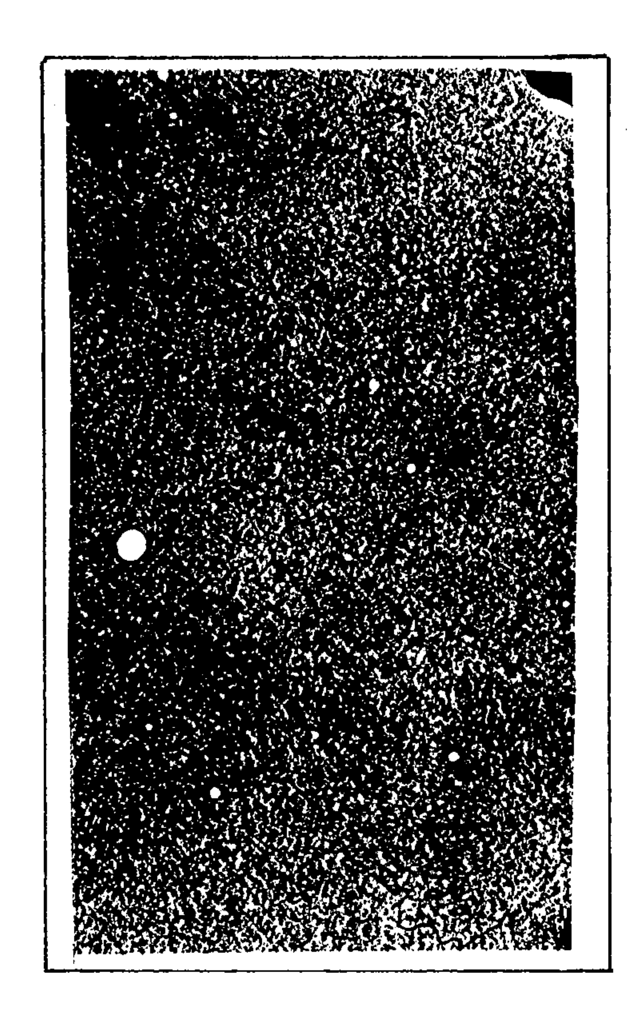


Figure 10.1. A molecule of linear double-stranded DNA. The bar represents 1,000 nm; magnification is 20,000 X.

الشكل ١٠/١ ـ جزيئة من الدنا المزدوج الوهن الخطي. والخط يمثل الف (١٠٠٠) نانومتر . والصورة مكبرة عشرين (٢٠) الف مرة.

ان وتيرة وقوع التبدل الطفري، كعمليــة التفكك الاشعاعي، تشكل عاملا احصائيا ثابــت الاستمراريــة الى درجــة بــاهرة • وتدل تقــديرات أي تسوكركاندل (E. Zuckerkandl) وايل بولينغ[1] (L. Pauling) على ان كل حامض اميني في الهيموغلوبين يتعرض للاستبدال بالتبدل التكويني بمعدل وتيرة مرة واحدة كل ثمانمائة (٨٠٠) مليون سنــة ، ولما كان الهيموغلوبين يحتوي على مائة واربعين (١٤٠) حامضا امينيا، فان هذا الاستبدال يقع في الجزيئة بمعدل (٥ر٠٧) مليون سنة، (أي كل خمسة ملايين وسبعين الف سنة)•

كما أيد موتو كيمورا[2] (Motoo Kimura) ثبــات دوامية هذه الوتيرة للاستبدال باجراء مقارنة بين عدد استبدالات الحوامض الامينية التي وقعت في السلاسل الهيموغلوبينية في الانسان وفي سمكة الكارب يتألف الهيموغلوبين من سياقين من البولي هضميتيدات تسمى بسلاسل الفاوبيتا (alpha and beta chains) نشأت من الهيموغلوبين العتيق ذي السلسلة الواحدة فقط • فالانسان وسمكة الكارب بهيموغلوبينهما الثنائي السلسلة منحدران من جد واحد مشترك ذي غلوبين (globin= الجزء أو العنصر البروتيني في الهيموغلــوبين) بدائي عاش اثناء الحقبة الديفونية بين ما قبل ثلاثمائة وخمسين (٣٥٠) مليون سنة واربعمائة (٤٠٠) مليون سنة خلت، ويعتبر ان التفرع الى سلالات نشوئيــة منفصلة وقع قبل حوالي ثلاثمائة وخمسة وسبعين (٣٧٥) مليون سنة • وقد وجد كيمورا في مقارنة سلسلتي الالفا والبيتا للهيموغلــوبين البشري اللتين تأتيان من جينات منفصلة انهما تختلفان في مجموع عدد استبدالات الحوامض الامينية بقدر (٧٥)• وعندما قارن عدد الاستبدالات في سلسلة بيتا البشرية مع تلك في سلسلة الفا الكاربية وجد ان الفارق يبلغ (٧٧) جوهريا مماثلا• وبعبارة أخرى، بعد انفصال الانسان وسمكة الكارب من جــد واحد قبــل

ثلاثمائة وخمسة وسبعين (٣٧٥) مليون سنة تعرض كلاهما جوهريا الى نفس عدد التبدلات الطفرية في سلسلة الالفا من هيموغلوبينهما.

تضم انواع مختلفة العديد من نفس البروتينات مشتركة بينهـا تقوم بأداء نفس الوظيفة ، ولكنها قليلا من نوع الى نوع في تركيبـة الحوامض الامينية . تسمى هذه البروتينات بالمتماثلة (homologs)، ويزداد تشابه تركيب البروتينات المتماثلة بازدياد تقارب أنساب الانواع. وفي عام ١٩٦١ اقترح فرنون انغرام[٣] (Vernon Ingram) من معهد ماشوسيتس للتكنولوجيا امكانية استخدام وتيرة الاستبدال (substitution rate) في هذه البروتينات المتمـاثلة كساعة للنشوء التطوري الجزيئي.

تظهر درجة التشعب التباعدي (divergence) في تركيبة بروتينات الدم في الحيوانات المختلفـة على الاخص في دراسـات مصل الدم (blood serum). اذ عند حقن الدم البشري في ارنب ينتج تجاوب الارنب المنيع أجساما مضادة (antibodies) للبروتينات البشرية . وعنـد خلط هذا المصل الضـد بشري (antihuman serum) بدوره مع الدم البشري، يحصل تكتـل (clumping) بنسبة مائة بالمائة (١٠٠٪) في بروتين الدم. كما ان خلط نفس المصل الضد بشري مع دم انواع أخرى يعطي نسب الترسب التالية : في الغوريلا ٦٤٪، في الانغوتاز ٤٢٪، في قرد البابون ٢٩٪، في الثور ١٠٪، في الغزال ٧٪، في الخيل ٢٪، في الكنغارو ٠٪، وهذه مقايسة دقيقة جدا للتشابه والانتساب الكيميائي، ويتناظر ترتيب النسبية فيها مع الشواهد المستحصلة من التشريح المقارن والامبريولوجيا (علم الاجنة) المقارنة والاحـاثة او الپانتالولوجيـا المقارنة.

ويمكن لدارسي النشوء الجزيئي الآن اجراء مقارنة مباشرة لهذا التشعب

التباعدي لتركيبة الحوامض الامينية في البروتينات المتمـاثلة • وقد قامت مرغريت دايهوف وزملاؤها (Margaret Daihoff) بنشر السياقات المعروفـة للبروتينات سنويا منذ عام ١٩٦٥ من المؤسسة الوطنية للبحوث البيوطبيـة (biomedical) وذلك في «اطلس سياقات وبنى البروتينات » • وقد ازداد عدد القيود من (٥٠) في عام ١٩٦٥ الى (٤٠٩) في عام ١٩٧٢[٤]• ويمكن بالسياقات المعروفة للبروتينات المتماثلة المأخوذة من عدد من الانواع اجراء مقارنة لتحديد مدى تعرض كل نوع لاستبدال الحوامض الامينية في البروتين بفعل التبدل الطفري•

كانت السيتوكرومة سي (cytochrome C) من بين اوائل البروتينات التي تمت دراستها من قبل عمانوئيل مارغولياش (Emanuel Margoliash) من مختبرات آبوت ووالتر فيتش (Walter M. Fitch) من مدرسة طب جامعةوسكونسون[٥]• يمكن استخراج وتنقية بروتين هيم (heme protein) هذا بسهولة وهو موجود في كل ميتوكوندريوتة للخلايا اليوكاريوتية ، أي لجميع الكائنات الحيـة ما فوق البكتيريا والطحالب الخضرزرقاوية • وعليه فانه يمثل تعبير أو ظهور لجينة واضحة متميزة متواجدة منذ حوالي الف وثلاثمائة (١٣٠٠) مليون سنة خلت•

في الفقريات تتضمن السيتوكرومةسي (١٠٤) حوامض أمينية ، وأكثر من ذلك بقليل في غير الفقريات • ونظرا لشدة تطابق شكل هذه السيتوكرومة البنيوي بمقدرتها على اداء وظيفتهـا بالتفـاعل مع اوكسيداز السيتوكروم وريداكتاز السيتوكروم (cytochrome oxidase- reductase) فقد أسفر ذلك عن الحفاظ على سطح البروتين • ان أي تبدل طفري يؤدي استبدال الحوامض الامينية فيه الى تغيير شكل البروتين يعتبرضارا وبالنتيجة فانه يندثرولا يبقى• وكنتيجة ، يبقى خمسون بالمائة (٥٠٪) من الجزيئة بلا تغير، وضمن الحوامض

الامينية المتغيرة توجد تسعة عشر منها على الاخص تلعب دورا في تطابق البولي هضميتيدات، وستة أخرى قد بقيت على حالها لأسباب غير معلومة • توجد ايضا دواميــة لشدف البروتين القاعديــة والتنــافرية للماء أو اللاالفيفة للماء (hydrophobic) ، كما ان بعض فئات الحوامض الامينية تبادلية تحوليا ، أو على نطاق كبير•

في دراسة ابعاد التبدل الطفري بين السيتوكرومــات سي لعشرين نوعا تمتد من الخميرة الى الانسان ، وجد فيتش ومرغولياش صلة بين النسبيــة التصنيفية للانواع وعدد الفوارق الفضلة ، وتضاءلت الفوارق أو انعدمت في بروتينات الانواع القريبة الانتساب، بينما كانت أعظم الفوارق فيالحوامض الامينية لدى الانواع الاشد اختلافاه وتميزت سلالتا القرود والانسان بطفرة تبدلية واحدة في سلالة الانسان أسفرت عن استبدال الحامض الاميني ثريونين (threonine) بالحامض الاميني ايسوليوسين (isolucine) في موضع واحــد• واختلف الحصان عن سمكة التونا (tuna fish) بعشرين حامضــا امينيــا ، وبخمسة واربعين (٤٥) في خمــيرة بيكر (Baker) • يبلغ معدل الفــارق بين المخلوقات العليا والثدييات الاخرى (١٠ر١) فضلة• ومع احتساب استبدالات الحوامض الامينية الناشئة عن التبدل الطفري في تاريخ السيتوكرومةسي، تمكن فيتش ومرغولياش من تشييد شجرة التطــور السلالي • ورغــم ان الاستبدالات في السيتوكرومةسي ربما لم تنجم عن التبدل الطفري الاكثر مسؤولية عن أي تشعب تباعدي معين، فان نشوءها يتوافق بشكل ملحوظ مع التطور التصنيفي للانواع•

						Phe	Lys				Ile	Ala					Val	
			Pro	Thr	Pro	Val	Glu	Gln		Ser	Val	Glu	Lys		Lys	Thr	Leu	
Acetyl	- Ala	- Ser	- Phe	- Ser	- Glu	- Ala	- Pro	- Pro	- Gly	- Asn	- Pro	- Asp	- Ala	- Gly	- Ala	- Lys	- Ile	- Phe -
	−8			Ala	Gly		Ser	Ala	1	Asp	Ala	Lys	Asn			Asn	Thr	10
											Ser							

									Glu					Thr					
Thr	Gln	Arg		Ser	Leu			Gly	Cys	Gly	Gly	Asn	Leu	Pro	Gln		Thr		
Lys	- Thr	- Lys	- Cys	- Ala	- Gln	- Cys	- His	- Thr	- Val	- Asp	- Ala	- Gly	- Ala	- Gly	- His	- Lys	- Gln	- Gly	- Pro -
Ile	Met			Glu	Glu				Ile	Glu	Asn	Ala	Gly	Lys			Ile		30
Val				HEME					20		Lys						Val		

		Gln											Val						
		Asn						His					Glu						Glu
Ala		Ser		Ile	Ile	Ser		Lys	Thr		Ser	Val	Gln		Phe	Thr		Thr	Asp
Asn	- Leu	- His	- Gly	- Leu	- Phe	- Gly	- Arg	- Gln	- Ser	- Gly	- Thr	- Thr	- Ala	- Gly	- Tyr	- Ser	- Tyr	- Ser	- Ala -
		Tyr		Phe	Tyr				40		Gln	Ala	Asp			Ala			Asn
		Trp											Pro						50

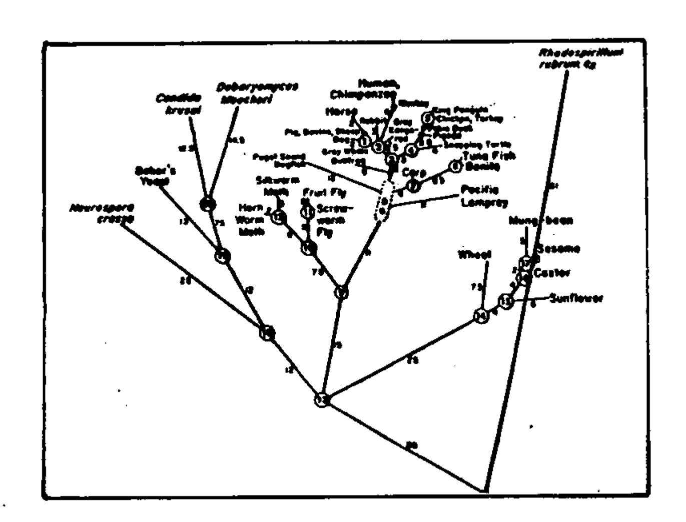
							Val		Lys										
			Lys				Ile		Asn	Gln	Glu			Arg	Val				
		Ile	Arg	Ala	Asn	Ile	Leu		Gln	Asn	Pro	Asn	Met	Ser	Ile			Thr	
Ala	- Asn	- Lys	- Asn	- Lys	- Ala	- Val	- Glu	- Trp	- Glu	- Glu	- Asn	- Thr	- Leu	- Tyr	- Asp	- Tyr	- Leu	- Leu	- Asn -
			Gln		Gly		Thr		Ala	Asp	Asp			Met	Glu			Glu	70
			Ser						Asp					Phe					
			Ala						Gly										
									60										

																	Lys	Ala	
												Val					Thr	Asp	
										Ile		Thr		Ile	Ser		Glu	Gly	Glu
Pro	- Lys	- Lys	- Tyr	- Ile	- Pro	- Gly	- Thr	- Lys	- Met	- Val	- Phe	- Pro	- Gly	- Leu	- Lys	- Lys	- Pro	- Gln	- Asp -
									80	Ala		Ala					Asp	Thr	90
												Gly					Ala	Glu	
																		Asn	
																		Lys	
																		Ser	

	Lys												
	Asp											D	D
	Gln								Asp	Ser	D	Lys	Lys
	Thr	Asn	Ile	Val	Thr	Phe	Met	Leu	Glu	Thr	Ala	Asn	Ala
Arg	- Ala	- Asp	- Leu	- Ile	- Ala	- Tyr	- Leu	- Lys	- Lys	- Ala	- Thr	- Ser	- Ser
	Glu								Ser	Lys	Cys	Ala	Glu
	Gly								Gln			Cys	
	Asn								100				
	Val												

الشكل ٢/١٠ ـ مؤلف لسياق الحوامض الامينية لثلاثين سيتوكرومة سي يوكاريوتية • والسياق المتواصل البالغ ١١٢ فضلة هو لبروتين جرثومة القمح، وجميع السيتوكرومات سي الاخرى اقصر من ذلك، وحوامضها الامينية المختلفة مبينة فوق وتحت السياق الخطي او الطولي•

تتم برمجة سياقات الحوامض الامينية للبروتينات المتماثلة بالكومبيوتر لغرض استخراج الخصائص الثابتة (topology) لشجرة التطور السلالي، وهنا يبنى الاحتساب على افتراض ان عدد التغيرات الاقل حصل في المتعضية الجد للسلالة • بعد ذلك ينظر الكومبيوتر في أمر كل حامض اميني في سلسلة البولي هضميتيد ، واحدا فواحد ، مع حفظ الحوامض الامينية التي بقيت بلا تغير بأعتبارها ثابتة لا تخضع للتغيير• أما بالنسبة الى الاخرى فتشتمل الطريقة على صيغة رياضية (formula) لكل ضميمة ممكنة ليتسنى الاخذ في الحساب السياقات المحتملة للبنى السلالية • وقد ورد وصف للطريقة بكل تفاصيلها في الفصل الثاني من اطلس سياقات وبنى البروتينات الصادر في عام ١٩٦٩ •



الشكل ٣/١٠ - شجرة النشوء والتطور السلالي مبنية على السيتوكرومةسي• تشير الارقام الى التغييرات المستنتجة للحوامض الامينية لكل مائة وصلة او رابط• عن: اطلس سياقات وبنى البروتينات، الصادر عام ١٩٧٢•

قام موتو كيمورا وتورنوكو اوهتـا[٦] (Tornoko Ohta) بدرج بعض المبادىء الخاصة بالنشوء الجزيئي، فوتيرة استبدال الحوامض الامينية ثابتة تقريبا اذ لم يمس التغير بالوظيفة أو البنية الثالثوية للبروتين ، وعليه فان أجزاء البروتين الاقل أهمية وظيفيا هي التي تتعرض للتغيير الاسرع ، وعندما تنشأ جينة ذات وظيفة جديدة يسبقها اتساخ جيني، وبهذه الطريقة تمتلك المتعضية نسخة واحدة لمراكمة التبدلات الطفرة لتظهر في الاخير كجينة جديدة بينما تحتفظ النسخة الأخرى بالوظيفة القديمة اللازمة للبقاء.

كشفت دراسة لغلوبينات الدم globin = الجزء البروتيني من الهيموغلوبين) عن حصول تشعب في الانواع توافقا مع تناسخ المواد الجينية خلال الالف مليون سنة الاخير، وبينت هذه الدراسة ايضا ان السلاسل الهيموغلوبينية الالفا والبيتا والمتكونة حاليا من جينات مختلفة تقع في صبغوسومات مختلفة، كانت بالاصل قد انشقت عن جينة سلالية واحدة بفعل تناسخ أو تضاعف عتيق في البنية الجينية ، كما ان هيموغلوبين سمك اللامبري (lamprey)، وهو سمك بدائي، لا يزال يحتفظ بسلسلة واحـدة، وكذلك الميوغلوبين (mioglobin) وهو بروتين هيمي (heme protein) ينتسب الى السابق ويوجد في العضل، قد نتج على ما يظهر من تشعب من الهيموغلوبين بفعل تضـاعف عتيق حصل في العصر ما قبل الكمبري من الالف مليون سنة الاخيرة. وبهذه الطريقة ، فيما تقدمت المتعضيات الى مستويات أرقى، اتسعت موادها الجينية والبروتينات ذات الصلة بها وتزايدت في العدد والتعقيد.

تحتوي الجينة الواحدة في المعدل الف (١٠٠٠) نووتيدة ، وفي الانسان يبلغ مجموع عدد النوتيدات المكون لجنومـة واحـدة (geneome = طقم الصبغوسومات مع جميع جيناتها) زهاء الاربعة آلاف (٤٠٠٠) مليون وهذا العدد ثابت بالتقريب في جميع الثدييات. وفي دراسة لسبعة بروتينات، وجد جاك

كنج (Jack King) وتوماس جوكس[٧] (Thomas Jukes) في التاريخ التطوري للثديات ان عدد استبدالات الحوامض الامينية بلغ في المعدل اثنين الى اثنين ونصف (٢ـ٥ر٢) بالسنة في النوع الواحده فاذا كان معدل زمن الجيل في السلالة المؤدية الى الانسان بقدر عشر سنوات ، فانه كان قد حصل عشرون استبدالا في كل جيل، وهو سريع فوق العادة بالنسبة الى نوع مستقر، ويسفر عن فقدان المتغايرات قبل توفر الوقت اللازم للانتقاء الطبيعي لاستمداد الفوائد الكامنة التي لربما تتواجد فيهاء ولهذا السبب كانت أغلب التغيرات في البروتينات حيادية أو تقريبا حيادية في الانتقاء الطبيعي.

تتوقف وتيرة نشوء البروتينات المختلفة على عدد الحوامض الامينية اللاتغيرية ليتسنى للبروتين ليكون وظيفيا • وقد اختار راسل دوليتل (Russell Doolittle) وبرغر بلومباك[٨] (Birger Blomback) الفيبرينو

ليفينو هضميتيدات: fibrinopeptides = ليفينو هضميتيدات fibrin = ليفين وهو

بروتين لا يقبل الذوبان يتكون من الفبرينوجين fibrinogen وهو بروتين في المصل الحيوي للدم — plasma — يتحول الى ليفين بفعل الانزيمة ثرومبين thrombin في تجلط الدم) لدراسة وتيرة (rate) النشوء الجزيئي• وعلى نقيض الهيموغلوبين والسيتوكرومةسي، لا تحتاج الليفينو هضميتيدات الى حفظ أية حوامض أمينية معينة للقيام بدورها البيولوجي ، وتتألف من شدف هضميتيدية طول الواحدة منها ما بين ثلاثة عشر الى واحد وعشرين (١٣ـ٢١) حامضا امينيا يتم قطعها من الليفينوجين (fibrinogen) عند تحويله الى ليفين في الجلطة الدموية • وبما انه يمكن أن تتألف الليفينوهضميتيدات من أي حامض اميني يتفق فانها ملائمة للغاية لدراسة الوتيرة اللامحدودة للتبدل الطفري•

في الاساس يقتصر تطبيق الليفينو هضميتيدات على الثدييات لكن

المعلومات المأخوذة منها تشكل اسهاماً رائعاً في معرفة النشوء شبه البشري (humanoid emolution) • يملك جميع البشر وقرود الشمبانزي والغوريلا نفس الليفينوهضميتيدات بالذات، بينما توجد فوارق في ليفينوهضميتيدات ازواج قريبة النسب من الانواع الاخرى كالقط ـ الاسد ، والكلب ـ الثعلب، والحمار ـ الحصان، والجاموس المائي ـ الجاموس الرأسي• وفي دراسة النشوء الجزيئي (molecular evolution) لستة انواع من اشباه البشر بمقارنة ليفينوهضميتيداتها اكتشف دوليتل والعاملون معه[٩] أنه بالرغم من تطابق الغوريلا مع الانسان والشمبانزي فأنه يختلف عن القرود اللاذنبية الاسيوية (Asian Apes) والسيامنج Siamang وهو قرد من فصيلة الغبون gibbon خفيف الحركة يتواجد في الملايو)• ويبدو ان هذه الشواهد الكيميائية على نسبية الانسان الى القرود اللاذيلية الافريقية (African Apes) تؤيد اطروحة لكي (Leakey) أن أجداد سلالتنا الأوائل عاشوا في افريقيا• يميل الخبراء الأحاثيون الباليوتتولوجيون الى تحديد زمن ظهور الانسان الى الوجود كنوع متميز منفصل عن الانواع العليا الأخرى في ما قبل أربعة عشر (١٤) مليون سنة خلت• ألا ان خبراء النشوء الجزيئي[١٠] من جهة أخرى ، يعتقدون ان الانسان والقرود اللاذيلية الافريقية تشعبت وظهرت الى الوجود قبل فقط اربعة الى خمسة (٤ـ٥) ملايين سنة لا غير[١١]• لكن، سواء ضر هذا أم نفع، فانه لابد من القول ان التحليلات والمقارنات الكيميائية أقل تأثرا بالرأي الشخصي من التصنيفات النظرية • وعليه فاننا نعلم ان النسبية الجزيئية بين الانسان والانواع العليا الاخرى أقرب بكثير من الاعتقاد السائد في العموم ، وبالفعل أقرب مما هي الحال بين أفراد بعض الانواع الأخرى المعترف بها• فمن خمسين بروتينا (٥٠) بروتيناً مختلفاً عزلت من الانسان والشمبانزي وجدان الفارق سياقات الحوامض الامينية يقع في أقل من واحد بالمائة (١٪)•

يوجد شكلان من التنظيم الصبغوسومي، هما الصبغوسومة المفردة في البكتيريا والطحالب الخضرزرقاوية بمثابة دنأ مزدوج الوهن في انشوطة مغلقة ، وسلسلة الصبغوسومات الاشبه بالخرزة (beadlike) المتواجدة في المتعضيات الاعلى. يمكن أن تحصل التبدلات الطفرة بالخطأ بعدد من الطرق اثناء اتساخ الترتيبة الصبغوسومية ، لكن هذه الانزيمات الصبغوسومية تكون تقريبا دائما قتالة مميتة، ومن جهة أخرى يتوقف مفعول التبدل الطفرة في الجينات المفضي الى استبدال الحوامض الامينية يتوقف على البروتينات. فاذا كان الاستبدال عديم المفعول على وظيفة البروتين، فانه حيادي، لكنه اذا أحدث تغيرا في شكل وقدرة البروتين فانه في هذه الحالة يكون ضارا بالمتعضية ولا يعيش معه التبدل الطفرة بسبب فقدان الفرد من نطاق التكاثر.

فالنوع الواحد يشكل مجمعا للتكاثر بين أفراده ، وكل تبدل طفرة يعيش فيه يتسنى له الانتشار في جميع انحاء نطاق التكاثر، وتنشأ أنواع جديدة عندما تتراكم التبدلات الطفرة في جماعات معزولة تكاثريا ، وفيما تنتشر التغييرات الناجمة عن التبدل الطفرة وتسود بين الجماعة يصبح تكاثر هذه الجماعة مع مجموعات النوع السلالي غير معتاد في البداية ثم في النهاية يمسي مستحيلا.

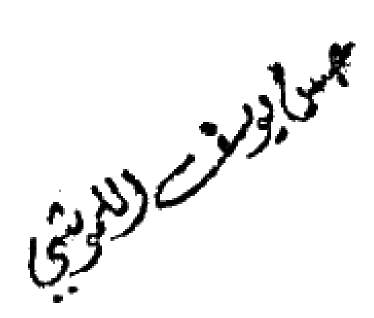
بينما تشكل استبدالات الحوامض الامينية اللامتغيرة في البروتينات القائمة تبدلا طفرة لا يحتفظ به، تكون الوسيلة التي تحقق البروتينات الجديدة بها سياق حوامضها الامينية الامثل وظيفيا . وفي المراحل الاولى من الحياة على الارض لربما كانت البروتينات الابتدائية منخفضة المقدرة ولكنها ظلت تتحسن باستمرار باستبدال الحوامض الامينية الى أن بلغت أقصى كفاءتها، وآنذاك تشبثت بالسياق المسؤول عن وظيفتها تحافظ عليه بحرص شديد. انما بدون تبدل طفرة، كانت الحياة ستبقى على مستوى الخلايا البدائية الاولى التي ظهرت على الارض البدائية.

على ما يظهر بدأت الحياة على الارض ببضعة تفاعلات اساسية لتمثيل مكونات أو عناصر تكوينية (components) ، ومن هناك انطلقت تخلد ذاتهـا بالتكاثر • تم الحفظ على البروتينات الخاصة بهذه التفاعلات الجوهريـة ، وفيما نشأت المتعضيات أخذت بتطوير التحسينات باضافة تفاعلات جديدة الى القديمة وتهذيب مقدرة التحويلات البيوكيميائية (biochemical conversions) وبسبب هذه الطريقة التحفظية التي يتخطى بها النشوء في مسيرته فاننا جميعا نملك في باطننا آثارا من اجدادنا الاوائل، وحتى من المتعضيات العتيقة المجهرية التي كانت تطفو في البحار الاركية ، ان الحياة لا تنبذ ما قد ارتكز عليه بقاء النوع واستمراره ، بل تحتفظ بالقديم جنبا الى جنب اية تطورات جديدة • ولهذا السبب يمكن مشاهدة العديد من التفاعلات البيوكيميائية الاساسية، المتوارثة أصلا من أجداد في غاية البعد القصي في القدم دون أن تتغير كثيرا عبر آلاف الملايين من السنين، في الريازة البيوكيميائية للنباتات والحيوانات المعاصرة•

وأحد هذه الآثار القديمة من أصولنا المنحدرة من البيئة اللاهوائية هو المسلك الأيضي: (metabolic pathway) لعملية الغلكلة glycolysis — على غرار « حلمأة "hydrolysis" » من مجمع اللغـة العربية بالقاهرة — والغلكلة هي عملية تحليل السكاكر وغيرها من الكربوهيدرات بواسطة الانزيمات وتحويلها الى مركبات أبسط مثل حامض الحايبيك او اللبنيك بالانتاج الوسيط لثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP) أتب adenosine triphosphate اذ أحد المصـادر الرئيسـة للاغتذاء الآن وربما منذ البداية هو مؤايضة الكربوهيدرات • ففي عملية التخمر البسيطة يجري تحليل أو تجزئة الغلوكوز الى حامض البيروفيك، يفضي الى حصيلة قدرهـا (١١ر٣) كج مـن الطـاقة الكيميائيـة بالمولـة (Kilojuoles permede) من السكر• وتقوم المتعضيات اللاهوائيـة المعـاصرة

بانجاز هذا التحويل (conversion) في عشرة (١٠) تفاعلات . ومنذ تطوير هذه السلسلة الاساسية من التفاعلات قد قامت بعض المتعضيات بتمديدها لمؤايضة حامض البيروفيك خطوة أبعد الى اللكتات او الحليبات والبروبيونات والخلات والايثانول والاسيتون وحامض الزبديك وحوامض دهنية أعلى (lactate, propionate, acetate, ethanol, acetone, butyric acid, and higher fatty acids)

وبالرغم من أن تفسيخ (decomposition) الكربوهيدرات الى حامض البيروفيك بالتخمر قد نافسته مسالك ايضية أكثر تطورا في جميع المتعضيات ما عدا اللاهوائية منها، فانه ما يزال باقيا في بيوكيمياء النباتات والحيوانات الاعلى كذخر من عصر كان فيه الوسيلة الوحيدة لاستخراج الطاقة الكيميائية لدى أجدادنا اللاهوائيين .



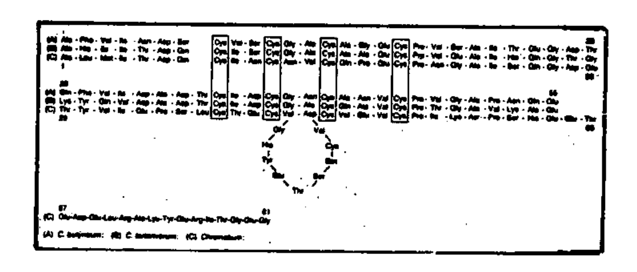
لكن تطور البنية البيوكيميائية كلها قد تشعب من بضعة تفاعلات أساسية، ونتيجة هذا هو ان التفاعلات الاصلية لم تعد يمكن تغييرها. فالكثير جداً من البيوكيمياء الكلية للمتعضيات ينبثق منها ويعتمد على منتوجاتها . فعلى سبيل المثال تدخل الخلات (acetate) في أجهزة نقل الطاقة، ولكنها ايضا مادة انطلاق جوهرية لمكونات مختلفة ومتنوعة من قبيل الكربوهيدرات والحوامض الامينية والدهونات . وحتى اذا أمكن ايجاد مادة أخرى تعمل أفضل من الخلات فانه سيكون من المتعذر تبنيها بدون نتائج تدميرية كاسحة وذلك بسبب كثرة التفاعلات التي تحتاجها. فانه من شأن تغير واحد أن يتصاعد في هرم متضخم يؤدي الى تغيير الكثير من تأيض المتعضية.

ان الحفاظ على طرائق العمليات البيوكيميائية يفسر شدة توحد جميع الكائنات الحية في الخطوات الجوهرية الاساسية التي تجعل الحياة ممكنة . وهذا هو السر في كيف ان التحقق من سياقات الحوامض الامينية للعديد من البروتينات واستخدام أجهزة الكومبيوتر قد اتاحت للخبراء البيوكيميائيين لتقصي وتتبع النشوء التطوري لنباتات وحيوانات اليوم على مستوى جزيئي. وبينما تقدر المتممة (complement) الجينية في الثدييات المعاصرة بمائة (١٠٠) الف جينة، فان عدد التفاعلات الايضية المشتركة بين الشعب (phylum) - جمع (phyla) المختلفة صغير للغاية . ومن هذا يبدو ان جميع الحيوانات والانسان معها تنحدر من خلية بدائية سلالية كانت تملك فقط مائتي (٢٠٠) جينة(١٢).

تنحدر الجينة التي تنسخ السيتوكرومثسي من تاريخ أول نشأة الخلية اليوكاريوتية ما قبل الف وثلاثمائة (١٣٠٠) مليون سنة خلت. لكن البروتين العام الشامل الذي ربما يمتد في القدم حتى أول بداية الحياة على الارض هو الفريدوكسين ، وهو بروتين حاو للحديد حيوي في التفاعلات الضوءكيميائية

(photochemical) لنقل الالكترون الى مخزن الطاقة الخلوية • للفريدوكسين قوة اختزالية تناهز ما للهيدروجين الجزيئي، وهذه الخاصية تجعله المركب المستقر الاشد اختزالية في الخلية وتوحي الى أنه نشأ في زمن كان جوالارض فيه لا يزال شديد الاختزال•

جميع أدوار الفريدوكسين المختلفة في الخلية اساسيـة جوهرية ، فهو يساعد في تكوين الأتب ATP بالاشعاع[١٣] ويشارك في اختزال ثـاني اوكسيد الكـربون الى البيروفـات (pyrovate) ، ويستخـدم في تثبيت النيتروجين[١٤]• وعلى ما يظهر ان الفريدوكسين أكثر عتاقة من ثنائي نووتيد ادنين النيكوتينـاميد (نـاد: (nicotinamide adenine dinucleotide: NAD: الذي عامل اختزال متواجد في جميع الخلايا • ويشارك الفريدوكسين مباشرة بمثابة مختزل لثاني اوكسيد الكربون مع الانزيمـة المسـاعدة الاستيلية أ (Acetyl) بدلامن بواسطة(ناد NAD) فيالميكروبـة البدائية (acetyl coenzyme) كلوستريديوم باستوريانوم (clostridium pasteurianum) والبكتيرة الضـوء تمثيلية كروماتيوم ثيوسلفاتوفيليوم (chromatium thiosulfatophilium) •



الشكل ١٠/٥ ـ مقارنة بين سياق الفريدوكسينات في ميكروبة كلوستريديوم وبكتيرة كروماتيوم•

ان الفريدوكسين بروتين من الحديد ـ الكبريت يتضمن فقط خمسة وخمسين (٥٥) حامضا امينيا ويتألف من نسبة عالية فوق العادة من الحوامض الامينية الاصغر والمستقرة ديناموحراريا هي: الغلايسين والالانين وحامض الاسبرتيك والسيستين (glycine, alanine, aspartic acid, cysteine) • ومن دراسة لسياق الحوامض الامينية في الفريدوكسين استدل ريتشارد ايك (Richard Eck) ومرغريت دايهوف[١٦] (Margaret Dayhoff) ان البروتين يملك سياقا سلاليا من (٢٩) وحدة وان الجزيئة الاصلية على سياق متكرر من الالانين والسيرين (serine) وحامض الاسبرتيك والغلايسين • يبدو ان الآلية (mechanism) الجينية الاصلية كانت سياقا من اثنتي عشرة (١٢) نووتيدة تضاعفت ثم تضاعفت مرة ثانية وعملت سلسلة طويلة تكرارية • وفي وقت لاحق فيما اصبحت المدونة الجينية اكثر تعقيدا ، أضيفت اليها حوامض امينية أخرى بما فيها السيستين والتصق الرابط الكبرتيدي في السيستين بالحديد • وأخيرا أضيفت اربع سيستينات بالتبدل الطفرة وتضامت سلسلتان متماثلتان في طبق الاصل (identical) لتسفر عن شبيكة معقدة من البروتين ــ الحديد ــ الكبريتيد ذات قدرة مضافة عالية•

يقع الفريدوكسين في المتعضيات اللاهوائية البدائية الضوء تمثيلية واللاضوء تمثيلية ، وهو أساسي في كيمياء الخلايا ، وتوحي بساطة الفريدوكسين وتطوره النشوئي الى انه لربما كان واحدا من أقدم البروتينات الاولى التي كونتها الحياة على الارض[١٧]•

تمتد الحياة باستمرار من لحظة ظهور اول خلية حية على وجه الارض، وتنحدر عبر الدهور والعصور بلا انقطاع، الى جميع سلالاتها الحية • وقد تناقلت المعلومات الجينية المدونة في خيوط نووتيدات الدنأ بتواصل مطرد من جيل الى جيل في تطور بطيء ، على الدوام منجزة مزيدا من القدرة ومكتسبة

جينات جديدة ، متوجهة دائما وأبدا نحو اشكال أفضل وارقى من النبات والحيوان.

جميع سلالات الحياة المتواجدة اليوم لها نفس العمر جينيا أو تكوينيا، ولكنها لم ترتق جميعها على سلم التطور الى نفس المرتفعات . فهناك «الاحافير الحية» وهي نباتات وحيوانات لا تزال متواجدة بدون تحقيق أي تغيير يذكر عن اسلافها الاحفورية . ونجد الكوسج اليوم قد بقي جوهريا بنفس حالته دون تغيير طوال السبعين مليون سنة الماضية ، والسرطان الحدوي يتواجد اليوم تقريبا بنفس حالته بدون تغيير منذ أكثر من مائة وثمانين مليون سنة. ولم تحقق الصراصير والعقارب والالفيات الارجل والنوتي أو النوتيلاس (nautilus) أي تقدم خلال عديد من مئات الملايين من السنين. كانت شجرة الجنك (ginkgo) مزدهرة في الصين في عصور الدينوصور ، ألا انه في عام ١٩٥٨ اصطاد بعض صائدي السمك على مقربة من سواحل جنوب غرب أفريقيا سمكة غريبة في شباكهم لم يسبق لهم أن رأوا مثلها قط. وكانوا على صواب في ظنهم . فقد كانت السمكة من فصيلة سيلاكانث اللاحشوية (coelacanth) التي درجها الخبراء الباليونتولوجيون بين الاصناف التي انقرضت قبل مائة وخمسين مليون سنة.

تمتد الاحافير الحيه الى حتى أعتق اشكال الحياة.قبل خمسة عشر (١٥) عاما قام سانفورد سيغل (Sanford Siegel) وهو خبير نباتي من جامعة هاوائي، بزيارة عابرة الى قلعة هارليك بمقاطعة ويلز ببريطانيا حيث لاحظ ان السياح هناك يمارسون عادة قد وقرها الزمن منحدرة من أيام العصور الوسطى. كان هؤلاء يحرصون على تقليد طريقة فرسان تلك الايام أو على الاقل طريقة الجنود القائمين بالحراسة ، أي انهم كانوا يتحشدون حول جدران القلعة ويتبولون عليها. كان سيغل يعمل منذ عدة سنوات بدعم من ادارة الوطنية

للفضاء وعلوم الاجواء الامريكية (NASA) في تحرير المتعضيات المجهريـة المتواجدة في البيئات القاسية والتي يمكن ملاقاتها في الترحال الفضـائي • وبما ان الامونيا مكون رئيسي لجو المشتري (Jupiter) ، وربما كانت منتشرة في الارض البدائية ، فقد جاءت تلك المنطقة ضمن البيئات التي شملتها دراسته، وذلك لأن التربة المشبعة بالبول تشكل حـالة طبيعية عاليـة المحتوى من الامونيا•

عاد سيغل الى بلاده يحمل عينات من التربة جمعها من الارض المحيطـة بالقلعة ، وحـاول زرعهـا (culture) في هيدروكسيـد الامونيـوم المـركز (ammonium hydroxide) • كانت أغلب المتعضيات لتموت أو تعوق الى حـد كبير في ذلك الوسط، ألا أن سيغل لاحظ واحدة تنمو في عناقيد مجهريـة من اشكال نجمية ملتصقة بسيقان رهيفة • لم تنطبق عليهـا اوصاف ايـة متعضية حية معروفة ، رغم انها تشابهت كثيرا بأحفورة مجهرية لما قبل الكمبري كان بارغورن قد اكتشفها في طبقات حجر الصوان الوري البالغة من العمر الفي (٢٠٠٠) مليون سنة الكائنة في كاكابيكا بمقاطعة اونتاريو بكندا ، وأطلق عليها اسم كاكابيكيا امبريلاتا[١٨] (Kakabekia Umbrilata) •

ظن سيغل انه قد وجد احفورة مجهرية حية تعيش على الامونيا • ورغم انه كان قد جمع عيناته الاولى من قلعة هارليك فقد بينت الدراسات التي قام بها هو وزوجته برباره[١٩] ان حاجة المتعضية الى الامونيا لم تكن مطلقة • كما قد تم العثور على المتعضية في أتربة الاسكا وايسلندة ومناطق مختلفة من جبال الالب حيث البيئة عالية بالقلوية منخفضة بالامونيا • لا تحتاج هـذه المتعضية الى الاوكسجين ، لكن على نقيض أغلب البكتيريا اللاهوائية ، لا تموت بمفعوله• وأطلق على اكتشـاف سيغل الذي ربمـا هو نسيب حي لأحفورة بارغورن من اواسط الـدهر البروتيروزوئي اسم كاكابكيـا بارغورنيانـا

• (Kakabekia barghoorniana)

رغم ان السيانو بكتيريا واسعة الانتشار فربما انها قد بقيت جوهريا بنفس حالها منذ ما لا يقل عن الف (١٠٠٠) مليون سنة خلت• كما ان الميكروبات اللاهوائية التي سادت طوال الالفي (٢٠٠٠) مليون سنة الاولى من ظهور الحياة وقبل تواجد الاوكسجين الطليق في الجو بأية مقادير ملموسة قد تمكنت من البقاء معنا في نقر مستورة وتمثلها اليوم بكتيريا الكلوستريديا (clostridia) التي تعيش لتعدينا بالكزاز (tetanus) والتسمم الرصاصي (botulism) وغنغرين الغاز gas gangarene : تعفن الجرح بالغاز)• وتعتبر الكلوستريديا ، التي تنقصها حتى السيتوكرومةسي، واحدة من اشكال الحياة الاكثر بدائية على الاطلاق • حتى البكتيريا الضوء تمثيلية ، وهي الميكروبات البدائية التي تملك القدرة على تمثيل المادة العضوية من ثاني اوكسيد الكربون في بيئة لا هوائية باستخدام كبريتيد الهيدروجين كمصدرها للهيدروجين وتحتاج فقط الى حامض الخليك والضوء وبعض الفلترات، قد واصلت البقاء حتى اليوم كواحدة من أقدم أشكال الحياة على الارض•



الشكل ١٠/٧ ـ بكتيرة كاكابكيا بارغونيانا من ويلز .

Figure 10.6. The gatehouse at Harlech Castle.
Figure 10.7. Kakabekia barehoorniana from Wales

ولكن رغم ان الأحافير الحية تبدو منجمدة في الزمن بينما تواصل النباتات والحيوانات الأخرى تطورها الدينامي، فان الأمر ليس كذلك في الحقيقة. اذ حتى جينات هذه البقايا العتيقة من الماضي السحيق قد مرت بالتبدلات الطفرية بنفس وتيرة جميع السلالات الحية الأخرى. انما لكي تحافظ على شكلية لا متغيرة يبدو أنها قد تعرضت لفعل متواصل من الانتقاء الطبيعي طوال المئات وحتى الآلاف من ملايين السنين فيما تدفق من خلالها سيل متواصل من التغيرات الجينية المحايدة تقريبا مستحالة (transform) جزيئاتها المعلوماتية الى حد كبير.

جميع المتعضيات الحية تحمل ضمن بنياتها البيوكيميائية آثار الأحداث التي أفضت الى تقدم الحياة طوال الثلاثة آلاف وخمسمائة (٣٥٠٠) مليون سنة الماضية. وعلى نقيض السجلات او الآثار الأحفورية التي تركت العديد من الفروع قد أصبحت دربا أو طريقا مسدودا ، ان البقايا الكيميائية الاثرية في جميع الكائنات الحية منحدرة من أجداد سلالية مباشرة . فاستخدام طريقة النشوء الجزيئي أسلوب ثمين للغاية ، وبواسطته يتمكن العلماء عقلانيا من حلم قديم طالما رنت اليه نفوسهم ، ألا وهو اكتشاف مسيرة نشأة الانواع حتى أول بداية الحياة بذاتها.

الفصل الحادي عشر ـ نوعان من الحياة

يوجد فرق هائل بين البروكاريوت واليوكاريوت من حيث التنظيم البنيوي والمطاوعية البنيوية • فمن جهة نجد أن البروكاريوت تضم عمليات تآيضيةفي غاية التنويع انما مع ذلك في الجوهر مجـرد رزم من الكيميائيـات تقوم ذات قطر بكتيري عشرة اضعافه في البروكاريوت وبحجم اكبر بألف (١٠٠٠) ضعف، وهي مبنية من وحدات خلوية فرعية مغلفة في أغشيـة دهنيـة تقوم بعمليات بيوكيميائية نوعية مستقلة نسبيا عن بقية الخليـة • وفيمـا تتكاثر البكتيريا بمجرد استنساخ الدنأ المفرد الانشوطـة فيهـا الذي يعـوم في السيتوبلازمة ، وتنفصل بالانشطار فيحمل كل نصف منها انزيمات سيتوبلازمية لمواصلة أنشطته الخلوية ، فان اليوكاريوت تملك مادة جينية أكبر بألف (١٠٠٠) مرة موجودة في نواة مغلفة منفصلة عن السيتوبلازمة وتتكاثر بواسطة آليـة الانقسام الفتيلي الدقيقة المعقدة•

بالنظر الى الطبيعة الاكثر بساطة للخلية البروكاريوتية فانه من المعقول الافتراض أن اليوكاريوت قد نشأت عن البروكاريوت، ألا ان النشوء لم يترك لنا أية آثار نهتدى بها في تتبع مراحله • كما توجد فجوة انتقالية بين هـذا الصنف من الخلية وذاك، فهما مجردان أشبه بنوعين مختلفين من الحياة•

ولا يتجاوز هذه الفجوة في الاستمرارية بين اليوكاريوت والبروكاريوت الا الهوة التي تم ربطها وتوصيلها لغرض ابراز المتعضيـات الحية الاولى الى الوجود • كانت هذه قفزة بيولوجية تعادل أو تفوق الطفرة الانتقالية من المتعضيات اليوكاريوتية الاحادية الخلية الى الحيوانـات المتعـددة الخلايا

والانسان، ووقعت في حين ما في الماضي السحيق، قبل تواجد النبات والحيوان بزمن طويل ، أثناء ما كانت الارض تغير خواصها وتتخذ ملامحها المألوفة لدينا اليوم. فما الذي حدث في ذلك الزمن السابق الشاسع ، قبل الحقب الكمبرية بردح طويل، في عالم الميكروب، وافضى الى اختلاق شكل جديد من الحياة، الى الخلية اليوكاريوتية؟

حين مدد المجهر الالكتروني بصر العلماء البيولوجيين من تكبيرة بقدر الف (١٠٠٠) مرة الى أخرى قدرها مائة (١٠٠) الف، وضع في البؤرة التعقيدات المتواشجة الكائنة في البنية الميكروبية . فبتكبيرة قدرها عشرة (١٠) آلاف مرة يمكن رؤية البكتيرة الكريية ستافيلوكوكاس (staphylococcus) تتحرك بمعونة سويط مروحي (propellerlike flagellum) وبتكبيرة قدرها ستة وعشرون (٢٦) ألف ضعف تبدو قصيبة السل الدجاجي (bacillus of chicken tuberculosis) كدودة كاملة النمو بدلا من ليفية دقيقة . أما بتكبيرة قدرها مائة (١٠٠) الف مرة فانه يمكن بالكاد تمييز الجزيئات العملاقة للخلايا لمجرد هباءات مغوشة لا شكلية (amorphous) . فقد نقل المجهر الالكتروني ابصارنا عبر مراحل أصغر مستويات الحياة الى عتبة عالم الجزيئات الكيميائية.

تؤلف الخلية البكتيرية شكل الحياة الذي يوصل العالم البيولوجي بالريازة التي تلوح بارزة من الصغر اللامحسوس للذرات ومخلوقاتها. فالبكتيريا العادية ، وهي أصناف كروية تسمى بالكوكاس (coccus) أي غبية، يبلغ طول قطرها حوالي اثنين (٢) ميكرومتر رغم ان القصيبات العودية الشكل (bacilli) يبلغ طول قطرها حتى عشرة (١٠) ميكرومتر . أما النوع الاصغر فهو الميكوبلازمة mycoplsma = جنس من المتعضيات المجهرية اصغر من البكتيريا وأكبر من الفيروس) التي يبلغ طول قطرها (١٣٥ر٠) من الميكرومتر ، لكن هذا الطول بدوره أكبر من قطر ذرة الهيدروجين بألف

وثلاثمائة وخمسين (١٣٥٠) مرة.

على ما يظهر ان البكتيريا هي أصغر المنظومات البيولوجية التي يمكن أن تعمل كوحدات مستقلة بذاتها ، ودرجة صغرها صعبة التصور للغاية ، وتوجد على جسم الانسان وفي باطنه أعداد من البكتيريا تفوق مجموع أعداد البشر على سطح الارض، ويمكن أن تتضمن ملعقة شاي من التربة آلاف الملايين منها بالحرف، وأربعون الفا منها جنبا الى جنب تمتد فقط بطول بوصة واحدة . لكن صغر البكتيريا، من جهة أخرى، يخفي فعاليتها، ذلك لأنها بالغة التعقيد للغاية في الدور الذي تلعبه في النطاق الحيوي من جو الارض biosphere = جو سطح الارض الذي تتواجد فيه الاحياء).

ويرجع نجاح البكتيريا الى عملياتها التآيضية المتنوعة للغاية . جميع المتعضيات الحية تملك انماطا تآيضية أساسية معينة مشتركة ، لكن البكتيريا لا تضاهى في تنوع بيوكيميائها، وبوسع الانواع البكتيرية أن تستمد الطاقة بأكسدة مواد متضاربة مثل الامونيا والكبريت والحديد والنتريت (nitrites) بينما بوسع بعض البكتيريا تمثيل جميع متطلباتها الخلوية مثل جملة البروتينات بأكملها والكربوهيدرات والدهونات والحوامض النوويك، وذلك من املاح لا عضوية بسيطة والامونيا وثاني أوكسيد الكربون والماء.

لقد اتاحت هذه التطاوعية للبكتيريا أن تمتد وتنتشر في بيئات تعجز اشكال الحياة الأخرى عن بلوغها الى حد كبير. فقد وجدت البكتيريا تنمو في درجات حرارة تبلغ (٩٢–١٠٠°) مئوية في مياه الينابيع المغتلية في نيوزيلندة وايسلندة ، وفي المياه القطبية في درجات حرارة منخفضة حتى (١٢°) مئوية تحت الصفر . كما تعيش البكتيريا والطحالب في بحيرة الملح الكبرى وفي البحر الميت حيث تبلغ نسبة محتوى الملح (٢٩٪)، وتعيش ايضا في المستنقعات السبخة وفي الينابيع والبحيرات المتألفة من حوامض شديدة.

تنحصر البكتيريا في نطاق صغر حجمها بفعل الضغوط الانتقائية المنبثقة من مستوى حياتها. جميع المتعضيات تتناول الغذاء لغرض النمو وتقوم بفرز الفضلات الايضية ، وفي المستوى الميكروبي يتحتم أن تمر هذه المواد من خلال الغشاء الخلوي، ولما كانت العمليات الحياتية منحصرة في حجم محدود، فان وتيرة هذه التفاعلات تتوقف على مدى سرعة قدرة الخلية على امتصاص هذه المواد والتخلص من تلفها. بما ان نسبة السطح الى الحجم تتزايد كلما انتقص الحجم فأن للصغر فوائد واضحة متميزة . تبلغ نسبة السطح الى الحجم لدى حوالي العشرين (٢٠)، بينما تتصاعد في البكتيريا الى تسعة (٩) ملايين، وهذا هو سر حيازة البكتيريا والخمائر والميكروبات على وتيرة تآيض هائلة . فبوسع خلية البكتيرة آي كولي (E. coli) عند وضعها في قمع خياطة من المرق الغذائي أن تتضاعف الف مرة في غضون ثلاث ساعات ، ويمكنها أن تطلق آلاف الملايين من الذرية خلال يوم واحد ، واذا أمكن ادامة الوتيرة فبوسعها أن تغطي الارض بأكملها في ظرف ثلاثين (٣٠) يوما.

أما في النهاية السفلى من مدى مقاسها فتنحصر البكتيريا في حجم يكفي ليشتمل على العدد اللازم من الجزيئات لتكون معه خلية وظيفية . ومع تزايد حجمها يصبح اتساعها أو تكاثرها معوقا بانتقاص وتيرة التآيض، انما يعود هذا على الأخص الى محددات موردها من الطاقة . والبكتيريا عوامل تخميرية، بأستثناء بضعة اصناف . فهي تقوم بتحليل أو تجزئة المواد لغرض استمداد الطاقة الكيميائية منها . غير أن التخمر مصدر منخفض المورد للطاقة ، والمتعضيات التي تعتمد عليه كوسيلة الوحيدة لتوفير الوقود لعملياتها التفاعلية تبقى محكوما عليها الى الابد في مستوى منخفض من الوجود.

ومثلما للصغر منافع فأنه للكبر منافع أعظم اذا ما تمكنت المتعضيات من توفير التركيز اللازم من الطاقة لتغذية الحجم الاكبر والتعقيد التنظيمي المزداد،

وعندما تواتت الظروف لتواجد شكل حياتي خلوي أكبر نشأ هذا ليتبوأ مكانه في العالم الحي. طوال الفي (٢٠٠٠) مليون سنة متواصلة كانت البروكاريوت شكل الحياة الوحيد في الوجود ، انما في اثناء تلك الفترة الطويلة عملت البروكاريوت على خلق الاحوال الملائمة لتتمكن الحياة من الارتقاء الى حجم أكبر وتنظيم أكثر تعقيدا . لقد خلقت، بتنوعها المتضارب، تنويعة واسعة من المسالك الانزيمية فيما بينها ، وبنفس الاثناء أطلقت الطحالب الخضرزرقاوية في البيئة ما يكفي من الاوكسجين لاتاحة اكسدة الغلوكوز كليا الى ثاني اوكسيد الكربون والماء بواسطة عملية التنفس . أقر البيولوجيون في القرن الماضي بتواجد صنفين خلويين من الحياة ، لكن العلاقة النشوئية بينهما بقيت مجهولة ، وكذلك بقيت مسألة كيفية تحقيق المرحلة الاكبر والأكثر تعقيدا من الحياة من خلال النشوء التطوري أمرا تحديسيا صرفا حتى الآونة الاخيرة.

لقد تمكن الميكروبيولوجيون في القرن التاسع عشر من رؤية اختلاف الخلايا اليوكاريوتية بحجمها وأورغانيلاتها المغلفة بالاغشية عن الخلايا البكتيرية الاصغر منها. ولكنهم تعذر عليهم رؤية التفاصيل البنيوية الدقيقة التي كشف عنها المجهر الالكتروني فيما بعد. مع ذلك، فقد كان بوسعهم أن يدرسوا المكونات الخلوية الفرعية (subcellular) المخضبة والمصبوغة ، وقبل مائة عام كان أي أف دبليو شيمبر (A.F.W. Schimper) أحد الخبراءالنباتيين الذين اكتشفوا ان الجبيلة اليخضورية (chloroplast) لا يجري تمثيلها جديدة وانما يتم انتاجها بالانقسام[1]. يبدو ان شيمبر كان أول من لاحظ أوجه الشبه بينها وبين الطحالب الخضرزرقاوية الطليقة العيش . والميتوكوندريا، كالجبيلات اليخضورية ، ايضا تتكاثر بالانقسام . فقام بروفسور التشريح بجامعة لايبزيغ ريتشارد ألتمان[2] (Richard Altmann) في عام ١٨٩٠ بطرح

فرضيته بأن هاتين الجسيمتين شبيهتان بالبكتيريا ، وانهما في الواقع تعايشيتان (symbiont) • ان الاختلاف بين صنفي الخليتين كبير لدرجة ان البروكاريوت تكاد لا تتجاوز في الكبر حجم الوحدات الخلوية الفرعية لليوكاريوت• غير ان فكرة كون الميتوكوندريا والجبيلات اليخضورية خلايا بكتيرية الواحدة بباطن الأخرى جوبهت بنقد واسع آنذاك وأهملت في النهاية•

بعد ذلك بعشرين عاما قام ميريشوفسكي[٣] (K.C. Mereschowsky) في روسيا بتطوير فكرة الاصل التعايشي للاورغانيلات لكن أفكاره بقيت في معظمها مجهولة للعلماء خارج روسيا بسبب حاجز اللغة، ثم في العشرينيات من هذا القرن نهض البيولوجي الامريكي ايفان والين[٤] (Ivan Wallin) من مدرسة الطب بجامعة كولرادو بقوة عن الفكرة بأن الجسيمات الصغيرة الكائنة في باطن الخلايا اليوكاريوتية كانت تعايشية ومن أصل بكتيري• رغم ذلك، لم تجتذب هذه الفكرة اهتماما يذكر حتى عام ١٩٦٢ عندما اعلن هانز ريس (Hans Ris) ووالتر بلاوت[٥] (Walter Plaut) من جامعة ويسكونسن عن اكتشافهما للدنأ في الجبيلات اليخضورية • ثم بعد عامين من ذلك تم اكتشاف الدنأ في الميتوكوندريا المأخوذة من النباتات والحيوانات[٦]• وعلى حين غرة تم اقرار خاصية جديدة وبالغة الاهمية للخلايا اليوكاريوتية• فعلى نقيض البروكاريوت التي تحتوي على جزيئة واحدة فقط من الدنأ، وجد ان اليوكاريوت في الواقع تتضمن مراكز جينية عديدة ، أي انها بولي جينومية • (polygenomic)

لم يكن الدنأ موجودا فقط في الجبيلات اليخضورية والميتوكوندريا ولكنه كان ايضا مغلفا في انشوطة مغلقة مثل الدنأ في البكتيريا • اوحى هذا بقوة الى ان هذه الجسيمات دون الخلوية (subcellular) كانت تمتلك خواص التناسخ الذاتي اضافة الى قدراتها على تمثيل البروتين• وفيما تبقى البروكاريوت

كوحدات فردية ممثلة للبروتين ، وجد ان اليوكاريوت تتألف من عدد من الوحدات المنفصلة تقوم بتمثيل بروتيناتها الخاصة بها. وعند المزيد من التمحيص وجد ان الطحالب الخضرزرقاوية ، والميتوكوندريا ، والجبيلات اليخضورية جميعها تملك بُنى رهيفية مماثلة ومستقلة عن الغشاء الباطني للخلية، وجميعها لها دنأ وأنزيمات، وصبغات شبه جزرينية (carotenoid) ، وسيتوكرومات ، وغيرها من المكونات المشتركة للقيام بأنشطتها ، وجميعها تنقسم وتملك خاصية التبدل الطفري والتطور.

دللت الشواهد بقوة على ان اليوكاريوت لم تنشأ من البروكاريوت بطريقة الاتساع البسيط في التعقيد من خلال التمدد والتبدل الطفري في موادها الجينية ، انما بالارجح حصل شيء ما، أما فجأة أو أثناء فترة انتقالية طويلة ، جمع بين عناصر متنوعة من العالم البروكاريوتي في اتحاد دائم ومتنام لدرجة انه خلق شكلا جديدا من الحياة.

كان العالم الحي في الاحقاب الاولى والوسيطة من الدهر البروتيروزوئي مبتنيا على أسس العمليات الانتقائية مثلما هو اليوم . وكانت المتعضيات البروكاريوتية تشحذ قدرتها من خلال التبدل الطفري ، وتطور أنواعا مختلفة شتى لتتسع الى أقاصي محدداتها البدنية ، وتعزز مكاسبها بواسطة التخصص. ولم يقتصر هذا الاتساع على المحيط الهامشي للبيئة الملموسة ، انما كشأن جميع مراحل النطاق الحيوي أو البيوسفير (biosphere) ، كان العالم البروكاريوتي مزدحما بالتبعيات الشكلية المورفولوجية والغذائية . كانت الاوتوتروف الضوئية والكيميائية (photo-and chemoautotroph) لوحدها هي التي تستطيع فقط استدرار متطلباتها العضوية من المواد اللاعضوية الصرف دون غيرها ، بينما اعتمدت جميع الاحياء الأخرى في تحصيل قوتها أما على التطفل والافتراس أو على الفضلات الايضية من الأخريات، وانتشر

التطفل والافتراس والتعايش التبعي على نطاق واسع في جميع انحاء النطاق الحيوي.

ان التعايش أو التعايش التبعي هو اشتراك متعضيتين اثنتين أو أكثر في علاقة نوعية للغاية مبنية على الاعتماد او التبعية المتبادلة ، ويمكن أن يتكون الترابط من مجرد علاقة طارئة الى اتحاد التزامي حميم. تحصل العلاقة عادة في الطبيعة في ظروف قاسية فوق العادة تتجاوز نطاق تحمل خزين المتعضية الواحدة من الانزيمات. ومن الامثلة الشائعة على هذا هو الحزاز (lichen) الذي يعيش في أماكن قاحلة مجدبة فوق طاقة الطحالب (algae) ، وشحيحة بالاغذية العضوية فوق طاقة الفطريات (fugi) . وبالنتيجة يضطر الحزاز القشري الناشف الى الاغتذاء كمؤلف شبه نباتي (plantlike composite) حيث تحتبك الملايين من خلايا الطحالب الخضرزرقاوية في طبقة قاعدية تتكون من شعيرات احدى الفطريات تتبدل فيها الاغذية بالتبادل بين المتعايشتين.

تنشأ العلاقات التعايشية بين متعضيات من جميع الاحجام وجميع الاصناف والانواع. تعيش البكتيريا في المسالك المعوية للحيوانات، وتستوطن الفطريات بالتعايش مع الطحالب، وتقريبا كل سمكة من نوع قنديل البحر (starfish) وقنفذ البحر (sea urchin) تملك متعايشة ميكروبية واحدة او اكثر. وبين النباتات والبكتيريا يتم تثبيت النيتروجين في جذور البقلات الكعبرية ، وهي عملية يعجز أي من المتشاركين القيام بها بمفرده . كما ان التعايش (sybiosis) بين البكتيريا أمر عادي شائع، ولاسيما في البيئات اللاهوائية . في غياب الاوكسجين يكون تجرد (degradation) المواد العضوية بطيئا ، وفي الاغلب تستلزم جملة تحلل المواد العضوية الى منتوجات غازية جهود اكثر من نوع بكتيري واحد لانجاز التجريد الانزيمي التام.

فاذا كانت النظرية التعايشية تفسر الفجوة او حلقة الصلة الاستمرارية المفقودة بين النوعين من الحياة ، فلابد أن الاثبات عليها يكمن في الشواهد الكيميائية والبيولوجية التي تربط هذه الاجزاء من الخلية اليوكاريوتية المعتقد بأنها تعايشية الاصل وتوصلها بوجودها السابق كمتعضيات طليقة العيش . فلابد أن الاورغانيلات التي كانت تعايشية كانت في زمن سابق لذلك متعضيات طليقة العيش وكانت لتملك كحد ادنى جزيئة الدنأ ورنأ رسول وجهاز لتمثيل البروتين بما في ذلك الرنأ الناقلة مع انزيماتها وريبوسوماتها وما تتضمنه هذه من البروتينات والحوامض النوويك ، ومصدر لثلاثي فوسفات الادنوسين (اتب ATP)، وجهاز لتمثيل اغشية الخلية . ولابد انه حصل انتقاءللتخلص من الفوائض او الزوائد عند دخول متعايشة في خلية مضيفة . وعليه لربما أن المتعايشة في باطن الخلية فقدت، أو لم تفقد، كل آلياتها للوجود المستقل باحالة وظائف التأيض الاساسية الحيوية الى عاتق المضيفة . لذلك ينبغي أن يكشف الفحص على المواد الجينية في الاورغانيلات المعاصرة عن أدلة تبين الخواص المسبغة على المضيفة وترجع بنا الى الطبيعة الخاصة بالمتعايشة العتيقة.

فضلا عن ذلك، بالنظر الى السلوك التحفظي للنشوء البيولوجي، فربما لا يزال يوجد في الطبيعة امثلة من النظائر الطليقة العيش الطبيعية الحصول للسلالات المزامنة (codescendants) لتلك المتعايشات تحمل نفس الصفات الجينية والفسيولوجية ، التي قد تمكنت من البقاء حية في عالم متغير.

وتأتي الجبيلة اليخضورية للطحالب الخضراء والنباتات كالمرشح الابرز والاكثراحتمالا للاورغانيلة المنحدرة من اصل تعايشي،لأنها تبدو كالبروكاريوت الضوئية التمثيل. وهناك امثلة كثيرة للمتعضيات اللاضوء تمثيليه التي تقوم باستغلال الجبيلات اليخضورية في أشياء أخرى . فبعض المتعضيات تستمد الجبيلات اليخضورية من الطحالب لاتمام انتاجها من الطاقة ثم بعد ذلك تنبذها أو تهضمها عندما تنتفي حاجتها منها . كماان البطلينوسة او البزرحونة العملاقة

(giant clam) تغتذى جزئيا من الطحالب الضوء تمثيلية العائشة بين خلايا غطائها، وتقتني بعض البزاقات البحرية (sea slugs) الجبيلات اليخضورية بالاقتيات على الطحالب التي تعيش بعد ذلك مستقلة في باطن البزاقة وتقوم بعملية التركيب الضوئي لنفسها ولمضيفتها ايضا[٧]. ومن بين الميكروبات نجد العسيسينية السوطية (euglena) الضوء تمثيلية المألوفة التي تضم جبيلات يخضورية لها قيمتها اثناء الاضاءة ولكنها ليست جوهرية للحياة . وعند زرع المتعضية في سائل من البنيسلين تتوقف عن انتاج الجبيلات اليخضورية وتغدو غير متميزة الضيفيات الاولية العاجزة عن الانتصاب او الوقوف (protoan Astasia) العادية .

ربما كانت الطحالب الخضراء أول اليوكاريوت التي نشأت مع هذه الاورغانيلة قبل حوالي الف (١٠٠٠) مليون سنة خلت عندما اقتنت سلالات اليوكاريوت السلالية الجد متعايشة ضوءتمثيلية . ثم نشأت الطحالب الحديثة والنباتات الأعلى الأخرى منها، بينما افضت سلالة أخرى من اليوكاريوت الاولية الى الأحياء الاولية (protozoa) والفطريات والحيوانات الاعلى.

تبدي الجبيلات اليخضورية فردية ذاتية ملحة على الدوام ، ربما لأنها لم تكن قد اقتنيت كمتعايشات الا مؤخرا نسبيا ، فهي تملك خاصتها من الدنأ والرنأ الرسول وجهاز لتمثيل البروتين وريبوسومات حساسة للمضادات للحيوية التي تؤثر على البكتيريا . تتضمن جبيلات الحرشفيات الاحادية البرعمة من الطحالب الخضراء (chlamydomonas) تدوينة (coding) لعدة مئات من البروتينات ، وذلك على نقيض الميتوكوندريا التي لا تتضمن أكثر من حوالي جزء من عشرة من تلك السعة[٩]. مع ذلك، فقد قامت الجبيلات اليخضورية بتحويل بعض من معلوماتها الجينية الى صبغوسومات المضيفة

منذ دخولها في العلاقة معها، وذلك لأنها الآن تحتاج الى مشاركة الجينـات النووية والجبيل يخضورية للتكاثر.

اذا كانت الجبيلات اليخضورية مقتناة بالتعايش فانها ينبغي أن تكون لا تزال تحمل آثارا من اسلافهـا البروكاريوتيـة. قـام فورد دوليتل(١٠) (Ford Doolittle) من جامعة دالهاوس بهاليفاكس في نوفاسكوشيا بمقارنته أوجه الشبه في الرنأ الريبوسومية من الاورغانيلة الضوء تمثيلية للطحلبة الحمراء بورفيريديوم (porphyridium) أو فرفريديومة مع تلك الموجودة في سيتوبلازمتها ذاتها ومع نفس الرنأ من الطحالب الخضرزرقاوية والجبيلات اليخضورية للفيسينية، ووجـد ان الاورغـانلة كانت أقرب انتسابا الى المتعضيات الأخرى مما كانت للطحلبة الحمراء ذاتها التي كانت هي جزء منها. ان الطحالب الخضرزرقاويـة والكلوروكسي بكتيريـا (chloroxybacteria) نظائر طليقة العيش للجبيلات اليخضورية وربما ان الجد السلالي للاورغانيلة كان يشبه هذه المتعضيات الضوء تمثيلية.

ان الميتوكوندريا هي الاورغانيلات التي تبدو اكثر عتاقة من الجبيلات اليخضورية، وذلك لأنه لا توجـد طحـالب او نباتات بدونها. فأذا كانت الميتوكوندريا منحدرة من متعايشة فلابد ان جدها السلالي كان ميكروبةلا ضوء تمثيلية تعتمد كليا على الاوكسجين للتأيض. كانت البكتيريا الأخرى تقوم بعملية التخمير (fermentation) لكن سوابق الميتوكوندريا كانت قد نشأت كهوائية تقتات على الفضلات التلفالناجمة عن عمليات تجزئة الكربوهيدرات من قبل متعضيات أخرى. وربما انها بالاصل كانت قد وجدت هذه المواد في البيئة، انما في الاخير دخلت في علاقة تعايشية مع خلية مضيفة لتقتات على باطنها الغني بالغذاء. وفيما عاشت الهوائية الصغيرة في الزراعة agricuture

الغنية بخمير المضيفة وتمتعت بحمايتها أخـذت من جـانبها تمد مضيفتهـا بالمنتوجات الطاقوية الزائدة من تآيضها، الى أن في الأخير أدى الانتقـاء الطبيعي النابذ للفوائض والزوائد بين المضيفة والهوائية الى الاعتمادالمتبادل، واصبحت الميتوكوندريا عاجزة عن العيش مستقلة خارج الخلايا اليوكاريوتية، كما تعذر على الخلايا ايضا البقاء في الحياة عند حرمانها من ميتوكوندرياتها.

لقد احتفظت الميتوكوندريا بخاصتها من الدنأ والرنأ الرسول والرنأ الناقلة والريبوسومات . ويملك الدنأ وزنا جزيئيـا بقدر عشرة الى مـائة (١٠ــ١٠٠) مليون وحدة كتلية ذرية (atomic mass units)، لكن هذا لا يكفي للتدوين لجميع البروتينات في الميتوكوندريا[١١]. لذلك، تخلت الميتوكوندريا عن سيطرتها الجينية للجنومة النووية وبذلك أصبحت متعايشة مرغمة تعتمد على المنتوجات التي تقوم الخلية المضيفة بتمثيلها.

أما اذا كانت الميتوكوندريا من اصل بكتيري فينبغي هي ايضا أن تشبه البكتيريا الطليقة العيش الموجودة بين الميكروبات في يومنا هذا . وربما أن المتعضية المعاصرة بـاراكوكاس دنيتريفيكانس (paracoccus denitrificans) وهي بكتيرة عصيوية الشكل تقوم بأكسدة منتوجاتها التخمرية كليا الى ثاني اوكسيد الكربون والماء[١٢]، كانت سليلة مزامنة للميتوكوندريـا وانحدرت من نفس الجد الاعلى. عند مقارنة الجهاز التنفسي لهذه الهوائية مع نظيره في ميتوكوندريا الحيوانات والخميرة وجد ان الشبه كان باهرا . فالكوينونات والسيتوكرومات (quinones, cytochromes) المأخـوذة من أجهزتها للنقـل الالكتروني متقاربة الشبه كثيرا. غير ان البكتيرة تختلف باحتوائها على جدار خلـوي وبقدرتهـا على اختـزال النترات الى نتـريت (nitrate to nitrite) وبافتقارها الى جهاز نقل الأتب (ATP)، بينما الجدران الخلوية والاختزال

النتراتي فائضة عن حاجة المتعايشة بباطن الخلية وكان سيتم نبذهما بالانتقائي الطبيعي. أما جهاز نقل الأتب، من جهة أخرى، فلم يكن ليتواجد في هوائية طليقة ولكنه خاصية ضرورية للميتوكوندريا ، لذلك فربما ان هذا الجهاز نشأ مع التعايش.

وما نوع المتعضية التي كانت ستمتص هوائية طليقة العيش الى باطنها في صحبة تعايشية؟ طالما يمكن اعتبار السيتوپلازمة كباطن الخلية المضيفة فانه يبدو ان الخلية المضيفة كانت لا هوائية ذات مسلك ايمبدن ــ مايرهوف (Embden-Meyerhoff Pathway)لتخمير الكربوهيدرات . يتم تدوين الانزيمات السيتوپلازمية في الدنأ النووي، ولذلك فان النواة ايضا مشتقة من الخلية المضيفة . توجد حول نواة الخلايا اليوكاريوتية ثلاث سمات بارزة تميزها عن الدنأ البروكاريوتي، فالمادة الجينية مرتبة في الصبغوسومات ، والنواة مغلفة بغشاء دهني، ويتم استنساخ النواة بطريقة الانقسام الفتيلي. فربما أن احدى هذه السمات أو جميعها تلقي الضوء على طبيعة الخلية المضيفة السلف.

تختلف المادة الجينية اليوكاريوتية ايضا بكونها متواشجة مع البروتينات الاساسية أو القاعدية . بدنيا ، تقاوم جزيئة الدنأ التعبئة او الرزم لأن مجموعات الفوسفات تميل الى الاشتحان سلبيا فتنافر بعضها البعض، ويتيح الغشاء النووي محايدة هذا التنافر بالاحتفاظ بتركيز أعلى من ايونات الصوديوم الموجبة الشحنة في السائل النووي مما في السيتوبلازمة . كما تعمل هستونات المواد الجينية (Histone: بروتين بسيط شديد القاعدية يدر حوامض امينية عند الحلمأة)، ايضا على محايدة مجموعات الفوسفات وتسبب تعبئة متراصة.

اقترح دينس سرسي (Dennis Searcy) والعاملون[١٣] معه في جامعة

ماشوميتس ربما ان الميكوپلازمة المستوعبة للحرارة والحوامض (Thermoplasma acidophilum: heat-and acid-tolerant) سليلة مزامنة للخلية اليوكاريوتية. تملكهذه البكتيرة العديمة الجدران مسلك ايمبدن‍ـمايرهوف، وبروتينات شبه هستونية لوقاية الدنأ فيها من الحرارة والحوامض، وسهلة الدخول في المعاشرة . غير انه عند مقارنة سياق النووتيدات في الرنأ الريبوسومية (165) لهذهالبكتيرة بنفس الرنأ من متعضيات أخرىابانالتحليل ان البكتيرةكانت أقرباتتسابا الىالبكتيريا الاركية ميثانوجنس (methanogens) وهالوبكتيريا (halobacteria)مما هي الى اليوكاريوت المعاصرة[١٤]. وعلى ما يظهر جاءت الخلية المضيفة من صنف آخر من السلف او بطريقة أخرى من النشوء.

واعتبار آخر هو ربما ان النواة بذاتها كانت قد بدأت كخلية في باطن الخلية المضيفة . يحمل دنأ النواة المدونة للانزيمات السيتوپلازمية وبعضا من المعلومات الجينية للاورغانيلات من اصل تعايشي مع ذلك، فهو مغلف بغشائه الخاص المنفصل، مما يوحي الى أن النواة ايضا بقية من متعايشة . وكان قد أفصح عن هذه الفكرة البيولوجي الروسي ميريشوفسكي (K.C. Mereschowsky) عند منقلب القرن ويدعمها كل من جيه غوكسور (J. Goksor) من النرويج، وجيه بيكيت هيبس (J. Pickett-Heapes) من جامعة كولرادو ، وايج هارتمان (H. Hartman) من معهد مساشوسيتس للتكنولوجيا . الا انه اذا كانت النواة تعايشية فان السؤال يبقى مفتوحا حول ماذا حصل لدنأ المضيفة وكيف اندمج الجهازان.

من جهة أخرى، اذا كانت النواة قد نشأت من الدنأ البروكاريوتي للخلية المضيفة السيتوپلازمية ، اذن لابد ان الدنأ اكتسب غشاءه الخاص به في زمن

ما عند نشأته • عندما تنقسم الخلايا البروكاريوتية يلتصق الدنأ فيها ونسخته بالغشاء النامي ويذهب كل منهما مع نصف الخلية الخاص به عند انقسامها • ولا يستبعد أن يكون الدنأ في بكتيرة سلف قد التصق بالغشاء ثم انغمد في باطن الخلية بواسطة شدفة من الغشاء الخلوي•

كان من شأن اعتماد الدنأ في باطن الخلية ان ينجم عن ايراد سريع لترتيبة الصبغوسوم • وربما ان استنساخ الدنأ المنعزل بواسطة الغشاء النووي اثناء المراحل الاولى من نشوء الخلية اليوكاريوتية قبل اتساق النواة مع الانشطة الخلوية الاخرى خلق الامكانية لتعدد الدنأ والاتساع المفاجيء بالمواد الجينية•

توجد سمتان للخلايا اليوكاريوتية ظاهريا غير منتسبتين ربما كان لها أصل مشترك ، وهما عملية الانقسام الفتيلي والجهاز للحركية ، وكلاهما يتم في اليوكاريوت بحزم من الالياف تسمى بالقويصبات المجهرية (microtubules) واذا كانت البروفسورة لين مرغوليس[١٥] (Lynn Margulis) من جامعةبوسطن صائبة فان كلا من عملية الانقسام الفتيلي والوسيلة اليوكاريوتية للتنقل نشأتا من التعايش بين الخلية ما قبل اليوكاريوتية وصنف من البكتيرة المعروفة باللولبية أو اللولبية الشعيرية (spirochetes) •

بعض البكتيريا مجهزة بزائدة شعيرية واحدة أو أكثر تتألف من بروتينات ليفية لغرض الانتقال والحركة • وهذه الاسواط تمنح الحركة التنقلية ليس بحركة سوطية وانما بتقلص ايقاعي أو متوازن يتحرك لولبيا من خلال السوط من نهاية الى الأخرى، وبهذه الطريقة تستطيع البكتيريا النقالة مثل الإي كولي (E. coli) من تحقيق سرعات تبلغ (٢٥) ميكرومترا بالثانية الواحدةاو ما يقرب من واحد من عشرة آلاف (٠٠٠١ر٠) من الميل بالساعة الواحدة[١٦]•

تستخدم الخلايا اليوكاريوتية ايضا تنوءات خلوية شعيرية للحركة •

وعندما تكون هذه النتوءات طويلة وقليلة ، مثل ذنب الجينات المنوية ، تسمى بالاسواط ويشار الى المتعضيات بالسوطيات • لكنها عندما تكون كثيرةوقصيرة فتسمى بالاهداب (cilia) ويشار الى المتعضيات بالهدبيات • تتألف الاسواط والاهداب من حزم من الالياف ذوات بنية في غاية الاتساق • يبلغ قطر الواحدة منها (٢٥ر٠) ميكرومتر وتتألف من ازواج من الاسطوينات الدقيقة (cyclinders) مع زوج آخر من القويصبات المجهرية في الوسط ، مضفية عليها تنضيدة بنيوية في (٩+٢)، وبما ان اسواط وأهداب اليوكاريوت تختلف بنيويا عن الاسواط البكتيرية المفردة الوهن الاصغر الأخرى، فانها مصنفة معا تحت عنوان أو اسم المتمورات الارجل (audupodia) •

يوجد بين البكتيريا صنف تكون المتعضية فيه مفتولة لولبيا • وبعضها، كالمشولات (vibrios) معقوفة قليلا فقط مثل علامة الفاصلة (، بالعربية او: و باللاتينية) ، لكن اللولبيات (spirochetes) مفتولة لدرجة ملحوظة ، وتتألف ابدانها من اسطوانة بروتوپلازمية مغلفة بغشاء پلازمي (plasma membrane) واللولبيات شديدة الحركة للغاية بفضل طولها ورفاعتها ومرونتها ، وتتحرك في الوسط بحركات تمورية متموجة•

يوجد تشابه ضارب في الحركة والحجم بين اللولبيات والمتمورات الارجل من الخلايا اليوكاريوتية ، ومن انماط السلوك الشائعة لدى اللولبيات هو التصاقها بالاشياء والنبض بتوافق متناغم ، وتطرح مرغوليس مثالا فريدا من سلوك اللولبية بمتعضية معاصرة ربما يشبـــه واقعة عنيفة حدثت في تاريخ اليوكاريوت• تعيش في المصران المؤخر (hindgut) للارضة (termite) الاوسترالية متعضية يوكاريوتية تسمى بمختلطـــة الشعر المحيرة (mixotricha paradoxa) تملك أربعة متمورات الارجل• لكن الميكسوتريكا لا تستخدم هذه الزوائد للتنقل ، انما تتنقل بواسطة نصف مليون من اللولبيات الملتصقة بها المتحركة

في تمورات متسقة وتستخدم المتمورات الارجل بمثابة دفف[١٧] (جمع دفة)•

توحي أوجه التشابه بين اللولبيات والمتمورات الارجل للخلايا اليوكاريوتية الى ان هذه الاخيرة نشأت من تعايش عتيق للمتعضيات شبه اللولبيات مع الخلية المضيفة • على ما يظهر التصقت اللولبيات بالخليةالمضيفة للاقتيات على الغذاء المتحلب من خلال الغشاء، وبدورها اسبغت المتعايشات الحركية على الخلية ما قبل اليوكاريوتية (pre-eucaryote) ، وهي صفة كانت لتمنح اليوكاريوت الناشئة ميزة كبرى في البحث عن القوت• كما تفسر النظرية التعايشية ايضا السبب في قدرة المتمورات الارجل على الانفصال احيانا من الخلية والسباحة بعيدا هاجرة اياها•

لا تزال الشواهد الكيميائية التي تنسب أصل المتمورات الارجل الى اللولبيات السلف ناقصة قليلة ، انما قد يعود هذا الى أن تعاشرها التعايشي بدأ قبل تعاشر الميتوكوندريا والجبيلات اليخضورية بزمن طويل جدا• مع ذلك ،فقد تم العثور على الرنأ في الحركوسومات (kinetosomes) وهي ابدان خلوية صغيرة تنمو منها المتمورات الارجل • وباستثناء الرنأ يبدو ان المتمورات الارجل لم تعد تتضمن موادا جينية ، بعد ان انتقلت قدراتها التكاثرية والتآيضية الى الصبغوسومات النووية اثناء تبعية تعايشية طويلة•

لكن بنيويا تملك المتمورات الارجل التنضيدة القويصيبية المجهرية ٩+٢ المرئية في تركيبة بعض اللولبيات ولاسيما تلك الموجودة في نمل الارضة• زيادة على ذلك، ان حجم الزوائد اليوكاريوتية والبكتيريا اللولبية متساو تقريبا• فاذا كانت اللولبية سليلة مزامنة فان المتعايشة فقدت غشاءها البلازمي اثناء فترة نشوء الخلية اليوكاريوتية•

من المستلزمات الخطيرة لليوكاريوت الناشئة كان التناسخ والانفصال

المنتظمين للدنأ النامي لهاء لقـد أصبح الدنأ اليوكاريوتي الف مرة اكبر من الدنأ البسيط في البكتيريا، فطورت اليوكاريوت عملية الانقسام الفتيلي لغرض نسخ وتقسم هذه الترتيبة المعقدة • وعند الاشارة تقوم بدينات نقطوية دقيقة تسمى بالوكائت او السنتريولات بالذهاب الى الاجزاء في الجانب المقابل من الخلية وترسل وشائع spindle = وشيعة) للالتصاق بالصبغوسومات ولفها على كل نصف من الخلية • تبين نصمة المجهر الالكتروني لمقطع عرضي من الوكيتة ان هذه الاورغانيلة تضم نضيدة من (٩+٠) من القويصبات المجهرية• ويختلف نمطها عن تلك في المتمورات الارجل فقط بانعدام زوج من الاسطوانة في المركز•

تقترح مرغوليس[١٨] ان الآلية الدقيقة المحكمة والعالية القدرة لعملية الانقسام الفتيلي كانت قد اكتسبت تعايشيا من متعضية حركية ذات النضيدة (٩+٢) • وربما كان بين نفس اللولبيات الحركية التي كانت اسلافا لاسواط الخلايا اليوكاريوتية متعايشات دخلت الى الخلية من خلال الغشاء بلا رجعـة الى الابد•

أدى اكتشاف الطبيعة البوني جنومية للخلية اليوكاريوتية بالبيولوجيين الى الادراك ان الانتقال من البروكاريوت الى مرحلة أعلى من الحياة لم يتم بالتطور من صنف واحد من الخلية ، وانما من تضـافر منها (consortium) لدينا سلف في ماضينا لما قبل الكمبري كان قد نتج عن اندماج العديد من من السلالات السلف التطورية • كما أن الطريقة التي تم بها هذا الالتئام بين أصناف متنوعة من المتعضيات هي ظاهرة شائعة لا تزال مستمرة في العالم البيولوجي الى اليوم• رغم ذلك، لقد كان التعايش الذي أسفر عن اختلاق الخلية اليوكاريوتية فريدا منقطع النظير في مغزاه، اذ أنه اقتحم العتبة التي انفتحت الى تعاقب سريع نسبيا الى جميع الاشكال الأعلى من الحياة، بما فيها الجنس

البشري ذاته.

كانت نشأة الخلية اليوكاريوتية باهرة النجاح وأفضت الى مجيئنا الى الوجود . لكن الحياة بقيت مقتصرة على المستوى الميكروبي لفترة ثمانين بالمائة (٨٠٪) من زمن وجودها قبل أن تبدأ النباتات والحيوانات بالظهور فلماذا استغرقت كل هذه المدة الطويلة؟

كانت الارض قبل الفي (٢٠٠٠) مليون سنة عالما في الانتقال . ومنذ ان نشأت الطحالب الخضرزرقاوية مع قدرتها الانزيمية على تحفيز الماء ضوئيا كانت قد بدأت تطلق الاوكسجين في البيئة ، لكن لمجرد ان يجري امتصاصه بسرعة في ايونات الحديد الثنائي التكافؤ للبحار الآركية وترسيبه كأوكسيدات غير ذائبة مع السيليكا في قرارات حديدية طبقية . لكن بعد انقضاء الف (١٠٠٠) مليون سنة كانت «بالوعة الاوكسجين» قد بدأت تفرغ من الايونات المختزلة. ثم في انبثاقة أخيرة من الترسب قبل حوالي الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت انتظفت البحار من الحديد الذائب ومعها بدأ الاوكسجين الجزيئي يتراكم في الجو وفي البحار[١٩]. وتركت الارض أحوالها المنقوصة في العهد العتيق خلفها فيما أخذت تتجه نحو الحالة المؤكسجة (oxygenated) وخواصها الحديثة ، وبتناميه حمل الاوكسجين معه ما جعل المتعضيات تتكيف لمفعوله القوي المكين.

لقد جاء الاوكسجين بمثابة سم قتال يحمل معه الموت للاحياء اللاهوائية التي اضطرت الى الاحتماء منه واتقائه في الاماكن المستورة والبقع الحاجبة له. اما بالنسبة الى الهوائيات فقد حمل الاوكسجين معه وعد الفسفرة التأكسدية (oxidative phosporylation) وتركيز للطاقة أعظم بثمانية عشر مرة (١٨) من نتاج التخمر الهزيل.

يبدو ان اليوكاريوت ظهرت في زمن يقع في حوالي ما قبل الف واربعمائة (١٤٠٠) مليون سنة خلت. ومع القوة الدافعة للغلكلة الكلية (total glycolysis)

تمكنت من استمداد الطاقة الكافية لدفع نفسها قدما الى عالم جديد بأجمعه. وفي بحر ستمائة الى سبعمائة (٦٠٠ــ٧٠٠) مليون سنة بدأت اللاحشويات والسمك الهلامي والاسفنج بالظهور في البحار مخترقة حاجز تعدد الخلوية، وما ان انفتحت دروب البعد الجديد هذا حتى امتلأت بسرعة وفي بحر مائة (١٠٠) مليون سنة بأشكال الحياة الجديدة في اتساع انفجاري متشعبة الى جميع الاصناف التشريحية الاساسية. ولم يبق الآن الا استيطان القارات بالأحياء الحيوانية والنبات وظهور الفقريات ، وكلاهما تم في وقت لاحق.

يوجد اجماع بين علماء الارض على ان الكمية الهائلة من الاوكسجين المطلق الموجود في الجو هي نتيجة تراكمه عبر الدهور من المتعضيات الضوء تمثيلية التي ما فتئت تصبه في البيئة. ولا تزال هذه العملية مستمرة اليوم بواسطة النباتات والمتعضيات المجهرية الضوء تمثيلية ، مع ما يقدر بتسعين بالمائة (٩٠٪) من هذا الاوكسجين متولدا بفعل العوالق الاشنية أو النباتية في البحار (phytoplanktons). ان الاوكسجين الجوي بتركيزه البالغ واحدا وعشرين بالمائة (٢١٪) يقدم أكثر من مجرد توفير الاحوال الملائمة لديمومة الحياة الهوائية ، فهو ايضا يوفر ساترا من الاوزون (ozone) في الطبقات الاعلى من الجو لدرء الاشعاع ما فوق البنفسجي في المدى ما بين (٢٤٠ــ ٢٩٠) نانومترا والمدمر لجميع المواد العضوية . (ملاحظة نانومتر nanometer وهو جزء من الف مليون جزء من المتر، أي طول قدره ١٠ ‎-٩ متر.)

للضوء ما فوق البنفسجي تأثير ضار وتدميري على المادة الحية ، ويحطم المتعضيات المجهرية المكشوفة بسرعة بشل نشاط مادة الدنأ فيها. وهو السبب في سفع أو حرقة الشمس. انما جميع الاشعاع ما فوق البنفسجي محجوب اليوم بواسطة طبقة الاوزون الكائنة في تخوم الجو العليا والمتكونة بفعل الضوء ما فوق البنفسجي القصير الموجه على الاوكسجين . وقبل تواجد

الاوكسجين الجوي كانت الاشعة ما فوق البنفسجية من ضوء الشمس تسطع على سطح الارض وتتغلغل الى الطبقات العليا من البحار بشدة عنيفة وتنشر الدمار بين الحياة الضعيفة المتعرضة لها. (ملاحظة: الجو يعني ايضا وحدة مقايسة فيزيائية لقياس الضغط الجوي، والجو الواحد له ضغط قدره (١٠١٣٢٤٩) دايناً بالسنتمتر المربع على سطح البحر (dyne/c2) ، أو حوالي (١٤ر٦٩) رطلا (lbs) بالبوصة المربعة . وبجو واحد يبلغ مقــدار الاوزون في هذا الدرع الطبقة طبقة من الغاز الصرف سمكها فقط ثلاثة سنتمترات . انما هذه الكمية ممذوقة بالطبع بغازات الهواء الاخرى وتقع على ارتفاع يتراوح ما بين عشرة الى أربعين (١٠ــ٤٠) ميلا، أي ان الطبقة الجوية المحتوية للاوزون تبلغ في الواقع عدة اميال في سمكها. مع ذلك، فاذا انتقصت كمية الاوزون في الجو الى الثلث، على سبيل المثال ، فان ذلك سيؤدي الى تدمير بشرتنا في ظرف دقائق عند التعرض ، ومن جهة أخرى، لو ضوعفت هذه الكمية من الاوزون فمن المحتمل أن يؤدي هذا الى فناء الجنس البشري من الوجود بسبب انعدام فيتامين جوهري، ويختنق بفعل تراكم كتل البكتيريا الهائلة).

تعرضت الارض خلال الفترة بين ما قبل الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة وبزوغ فجر الحقب الكمبرية ما قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة خلت، الى تغير بالغ وشامل ماديا وبيولوجيا اثنــاء مــا كان مستوى الاوكسجين الجوي يتزايد. اثار دخول الاوكسجين المطلق الى البيئة تجاوبين بيولوجيين اثنين، اذ معه بدأت الهوائيات تظهر مستخدمة تآيضا تأكسديــا محدودا منخفض الطاقة، وبدأت اللاهوائيات تنشد الوسائل لاتقاء آثاره القتالة. لابد أن ردود الفعل هذه وقعت في آن واحد. وعندما يبلغ الضغط الجزئي للاوكسجين ارتفاعا كافيا للفسفرة التأكسدية ينقبض الهيدروجناز (hydrogenase) وغيره من الآليات التحفيزية اللاهوائية المماثلة وتتأكسد حتى الخمول. وكان أول من لاحظ هذا المستوى للاوكسجين حيث يكتب الاختمار

ويتوقف فيتيح الامكانية لبدء الحياة الهوائية (aerobiosis) هو لويس باستور، ويبلغ هذا المستوى واحد بالمائة (١٪) من تركيز الاوكسجين اليوم[٢٠].

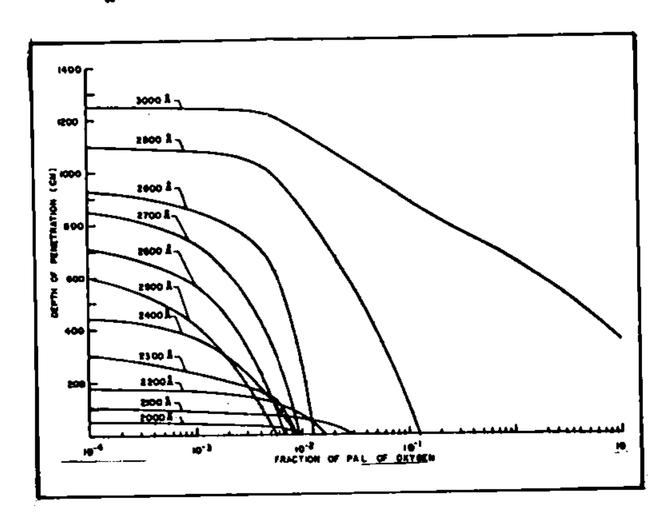
والى أن تراكم درع واف من الاوزون في أعالي الجو لحجب الضوء ما فوق البنفسجي لابد ان مواطن الاحياء الضوء تمثيلية بقيت مقتصرة على منطقة ضوئية محجوبة بطبقة من الماء أو الرواسب المتلزجة. ومع تضاؤل الاشعاع ما فوق البنفسجي أمام الطبقة الاوزونية المتزايدة بدأت العوالق الاشنيةاو النباتية البحرية تتسع وتتصاعد الى الطبقات السطحية حيث التمثيل الضوئي أكثر نشاطا . ويغلب الاحتمال أن انتشار العوالق الاشنية البحرية على سطح البحار المكشوفة عجل الى حد كبير من ازدياد الاوكسجين في النطاقين البحري والجوي وبدوره ادى الى تزايد الطبقة الاوزونية واتساع المنطقة الحياتية.

انما بالرغم من امكانية رسم توالي الاحداث فان تنظيمها في تسلسل زمني ثابت أكثر صعوبة ، يتوقف تثبيت زمن التجاوب البيولوجي وظهور الطبقة الاوزونية على معرفة مستويات الاوكسجين الجوي اثناء الاحقاب ما قبل الكمبري، وهذا لا يمكن سوى استنتاجها بأسلوب غير مباشر . لكننا نعلم من السجلات الاحفورية ان الحيوانات ذوات الاجزاء الصلبة نشأت على نحو انفجاري في البحار عند بداية الحقب الكمبرية وأخذت تستوطن القارات بحوالي مائة (١٠٠) مليون سنة بعد ذلك.

بدون الاوكسجين الجوي كان الضوء ما فوق البنفسجي بموجةطولها ٢٦٠ نانومترا يتغلغل في الماء حتى عمق سبعة (٧) امتار . وقد قام ايل دبليو بركنر (L.W. Berkner) وايل سي مارشال[٢١] (L. C. Marshall) بالتدليل على ان هذا الاشعاع المخرب بيولوجيا كان قد انتقص فجأة مع ارتفاع مستوى

الاوكسجين بنسبة واحد الى عشرة بالمائة (١ـ١٠٪) فوق نقطة باستور متيحا بذلك المجال أمام العوائق الاشنية البحرية للتوسع والانتشار في جميع أنحاء الطبقات السطحية للبحار ،رفعت هذه بسرعة وتيرة تراكم الاوكسجين. وبارتفاع مستوى الاوكسجين الى نسبة ثلاثة بالمائة (٣٪) فوق نقطة باستور كان قد أصبح ممكنا ابتداء مؤايضة المتطلبات الاوكسجينية المنخفضة نسبيا مؤدية الى ظهور موجة من تعدد الخلوية بين اليوكاريوت.

لقد أشار بريستون كلاود الى أن تزايد الاوكسجين ببطء بعد ما قبل الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت كان قد اصطحبه تزايد في انتشار رواسب الحجر الجيري والدولوميت ، مما يدل على انتقاص مستوى ثاني اوكسيد الكربون الجوي. وربما أن سعة انتشار القـرارات أو الرواسب الجليدية في آونة أواخر الدهر ما قبل الكمبري تعكس النسبة الكبيرة في ازدياد الاوكسجين وفي انتقاص ثاني اوكسيد الكربون في تلك الآونة. وقلة



الشكل ١/١١ ـ رسم بياني يبين مدى تغلغل الاشعاع ما فوق البنفسجي في الماء في خلائط مختلفة من أجواء الاوكسجين والاوزون

الاوكسجين اثناء الازمنة ما قبل الكمبرية مدعمة بندرة الغلوكونيت glaucoaite وهو سيليكات البوتاسيوم والحديد، وقرارات كبريتات الكلسيوم الرسوبية في نفس الازمنة ، على نقيض غزارتها في الرواسب الاكثر حداثة.

لا شك ان ظهور الحيوانات المتعددة الخلايا جاء في أعقاب نشوء العمليات الخلوية الاساسية اللازمة لجعل ظهورها المفاجيء ممكنا، وتوجد ادلة بيولوجية على ان الاوكسجين كان قد أصبح عاملا مؤثرا في البيئة بزمن طويل يسبق ما توحي به الآثار الجيولوجية . وقد أعلنت مرغوليس ورمبلر[٢٢] Rambler ان البروكاريوت ، وحتى أنواع قريبة الأنتساب، كثيرا ما تختلف في تجاوبها للاوكسجين ، مما يوحي الى انها طورت انماطها التأيضية الرئيسة بالاستجابة الى مستويات من الاوكسجين متباينة ومتصاعدة . لكن لما كانت اليوكاريوت متوحدة للغاية في تجاوبها للاوكسجين، فان هذا يوحي في الظاهر الى ان آلية مواجهة الاوكسجين كانت قد نمت في مجموعات بروكاريوتية مختلفة وكانت قد تطورت وترسخت حين ظهرت اليوكاريوت.

وهذا الرأي يبدو مدعما بالعتاقة الظاهرة لانزيمات الاوكسيداز (oxidase) التي تعمل على اخماد فاعلية البروكسايد (peroxides) . وقد كشف التسييق أو ترتيب السياق الجزيئي عن درجة عالية من الشبه في سياقات الطرف او النهاية العيارية (N-terminal) لديسميوتاز السوبروكسايد (superoxide d[illegible]tase)
بين انزيمات الحديد والمنغنيز في بكتيرة اي كولي، و ريمة المنغنيز الميتوكوندرية، وبكتيرة باسيلاس ستيروثرموفيلاس (Bacillus stearothermophilus أي العصية او القويصبة الحرارية الدهنية او المجتذبة اليها)، مما يجعل من المحتمل ان الجد او السلف في أصل القويصبة (bacillus) كان يملك ديسميوتاز سوبروكسايد وظيفية[٢٣]. غير ان هذا لا يدل بالضرورة على

تواجد مستوى عام من الاوكسجين الجوي والذائب في البيئة ابان الدهر الاركي، وذلك لأنه كان بامكان اصناف بروكاريوتية وثيقة الصلة بالطحالب الخضرزرقاوية المطلقة للاوكسجين أن تنمي الاوكسيداز والتآيض التأكسدي بزمن طويل قبل وصول الجو الى حالة مؤكسدة ، والى حد كبير مثلماتفعل الميثانوجين اليوم في استمداد الهيدروجين الغازي المتحرر من الكلوستريدياء

تطرح مرغوليس قضية مقنعة في انه كان بامكان المتعضيات المجهرية أن تنمو على حواشي أو ضفاف القارات بزمن طويل قبلظهور النباتاتوالحيوانات فيها في الحقب الكمبرية فقد كان بوسع مستوى من الاوكسجين الجوي قدره واحد بالمائة فقط (١٪) من نقطة باستور أن يوفر ما يكفي من الاوزون لوقاية سطح الارض من أغلب الاشعاع القاتل • زيادة على ذلك ، تملك المتعضيات المجهرية البروكاريوتية العديد من الوسائل لوقاية نفسها ضد الاشعاع، بما في ذلك آلية انزيمية تعمل على اصلاح الدنأ التالف• وعليه ليس من المستبعد أن تكون الحياة قد زحفت الى القارات حتى منذ الدهر الاركي، وذلك في حصيرة غلافية من طفاحة البكتيريا الضوء تمثيلية الخضرزرقاوية والارجوانية ممتدة من السواحل، وتحت هذا البساط كانت طبقات من البكتيريا اللاهوائية واللاضوء تمثيلية الصفراء والبنية والسوداء تسعى وراء غذائها فيما كانت بكتيريا أخرى غضة الابدان واصناف من الفطر تنمو بين دقائق التربة[٢٤]•

تعتقد مرغوليس ان الزمن الطويل الذي استغرقته اليوكاريوت للتطور الى حيوانات الحقب الكمبرية المعقدة المتعددة الخلايا مرده الى عوامل بيولوجية أكثر منها بيئية • استلزم الزحف نحو تطور معقد لخلائق ذوات اقياض وعظام العمليات الدقيقة المتقنة المتمثلة في الانقسام الفتيلي ــ الانقسام الاختزالي (mitosis-meiosis) وتنظيم الكلسيوم ، واصبحت عملية الانقسام الفتيلي ممكنة فقط من خلال تنشئة دورة خلوية (cell cycle) ، ونظام

صبغوسومي، وآلية التوزيع الجيني بواسطة القويصبات أو الاوعية المجهرية (microtubules) • وتتطلب أجهزة القويصبات المجهرية الفتيلية الانقسام تركيزات منتظمة ومنخفضة من ايونات الكلسيوم لبلمرة البروتين وربما كانت مسبقا قد كيفت متعضيات لتقوم لاحقا بتنشئة خواص كربونات كلسيومية سائدة وواقية ، جميع هذه العمليات تحتاج الى اوكسجين وكانت لتستغرق زمنا طويلا للنشوء.

عند تعريض المتعضيات المجهرية الى مدرج اوكسجيني (oxygen gradient) سواء في المختبر أو في الطبيعة كما في اعماق التربة ، ينتهي انتشارها بما يعكس مستوى الاوكسجين. تتراصف البروكاريوت في المدرج بحسب تباين احتياجها الى الاوكسجين ، مبينة بذلك ان هذا الغاز لا يزال عاملا انتقائيا بالنسبة اليها. أما اليوكاريوت، من جهة أخرى، فانها تنزع كمجموعة الى الاختلاط بالمستوى الهوائي التام. وتعتقد مرغوليس ان هذا دليل قوي على ان جو الارض كان مؤكسجا بالتمام عندما نشأت اليوكاريوت[٢٥].

غير ان تقدير وتيرة النشوء عملية غير أكيدة مثلما هي عملية تقدير تركيزات الاوكسجين في الدهر ما قبل الكمبري، ذلك لأن النشأة البيولوجية ليست عملية منعزلة بذاتها وانما وثيقة الارتباط بالبيئة المادية الطبيعية. لقد خلقت المتعضيات الضوء تمثيلية في اكسجتها للبيئة كمينا من الطاقة أمد اليوكاريوت بالقوة اللازمة لنشوئها. لا يبدو من المحتمل انه قد انقضى زمن طويل بين النشوء البيولوجي والجيولوجي، وربما أن سرعة تعجيل تزايد مستوى الاوكسجين في أواخر الدهر ما قبل الكمبري أدت الى تعجيل مماثل في النشوء البيولوجي، مثلما أدت الاماكن البيئية الجديدة الانفتاح الى تنويع انفجاري لاستيطانها.

الفصل الثاني عشر ـ البكتيريا الآركية او الاولية

لم يكن ارتقاء المنظومات البيولوجية الى حجم اكبر وأكثر تعقيدا من مجرد التئام للكيميائيات البسيطة قبل ما يناهز الاربعة آلاف مليون سنة خلت تقدما سويا مطردا • فالنشأة الداروينية تشرح لنا الوسائل اللازمة لارتقاء الحياة الى المتعضية الاكثر اقتدارا في البقعة البيئية الملائمة (ecological niche) • انما في مناسبتين رئيسيتين نهضت خلائق بيولوجية من المستوى الثابت الراسخ لتنتشر في متسع أكبر في العالم المادي، في ساحة جديدة كل الجدة من البقع البيئية المكشوفة في العراء• واحدى هاتين المناسبتين كانت نشأة الخلية اليوكاريوتية التي فاقت الخلية البكتيرية حجما وتعقيدا بدرجات عدة • أما المناسبة الأخرى فكانت عندما انبجست الحياة من عالم الميكروب الى تعدد الخلايا، الى البعد الملموس للنبات والحيوان•

تبقى المباديء الداروينية صائبة مشروعة على جميع المستويات • فالمتعضيات تفرط في مكاثرة نوعها، والتنافس بين الافراد يفضي الى تحسين الخاصية التكييفية • لكن التنافسية في النشأة أثناء التدرج من الميكروبة الى الانسان قد انتقلت من الكيميائي الى المادي• تتألف الحياة في المستوى البكتيري من التنافس بين العمليات البيوكيميائية على استهلاك المواد ذات الطاقة الكيميائية ، والتقدم الى رتبة اليوكاريوتية والحجم التعددي الخلايا دفع بالتنافس الى حدة التكالب بالمخالب والاضراس ، والى الأشكال والزوائد البدنية لانتزاع المواد العضوية من باطن النطاق الحيوي• اذ فقط الضوء تمثيليات كانت تستمد طاقتها من الخارج، بينما كانت كافة أشكال الحياة الأخرى تسعى في التركيبة البيولوجية للنطاق الحيوي ذاته للحصول على ما يعينها على البقاء•

لقد أثر التقدم من التنوع البيوكيميائي الى تكييف التفاصيل البنيوية في عمل الخبراء الباليونتولوجيين المعنيين بمهمة تشييد السلم النشوئي، وكانت الآثار الاحفورية، التي تكشف عن التغيرات الشكلية المورفولوجية ، وسيلة ثمينة في الاستدلال على السلالات الانحدارية للنباتات والحيوانات منذ ظهورها في فجر الحقب الكمبرية قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة خلت. انما تشييد الخطوط السلالية الانحدارية للبكتيريا، من جهة أخرى، كان أمرا مختلفا بحد ذاته، وذلك لأن تنوعية البكتيريا بيوكيميائية الصفة بالاصل . فقد اقتصرت سعة انتشارها وتنوعيتها على تباين العمليات الانزيمية لاستدرار الطاقة الكامنة في الاصناف المتعددة من المواد الكيميائية بينما بقيت اشكالها البدنية شديدة الشبه قلما توحي بأية أدلة الى ترتيبها النشوئي. وبالنتيجة ، فان بساطة الشكليات البكتيرية بذاتها تحول دون امكانية استمداد أية معلومات تنويرية من أحافيرها المجهرية.

استلزم الامر النزول الى مستوى آخر من التعقدية لاقامة علاقة بين الانواع العديدة من البكتيريا، الى المستوى الكيميائي حيث تنمو الجزيئات بالحجم فوق الصغير اللامحسوس لتصبح الجزيئات العملاقة لعمليات الحياة. فعندما تتعرض جزيئة الدنأ للتبدل الطفري في سياق نووتيداتها ، ينعكس هذا التغيير في تركيبة كل من حوامضها النووية وبروتيناتها على السواء، وبهذا تتحول هذه البيوبوليمرات الى ساعات أو أجهزة قياس زمنية جزيئية يمكن استخدامها لتحديد الزمن الذي تشعب فيه النوع من سلف مشترك. وعليه ، بمقارنة الجزيئات المتماثلة من متعضيات مختلفة يتمكن الخبير البيولوجي من وضع العلاقات السلالية للكائنات الحية في ترتيبها السلالي الانحداري، ويشمل هذا حتى التنويعة الهائلة من البكتيريا.

بوسع تاريخ البكتيريا السلالي أن يوفر لنا منظورا الى الخواص

البيوكيميائية الاكثر عتاقة، ومتى ما امكن تمييز التدرج الترتيبي، نستطيع أن نتساءل ببعض الثقة في الحصول على جواب: كيف كان اعتق اشكال الحياة؟

يكمن الحل للاإلقية السلالية في الكون المجهري الكيميائي للبكتيريا في تشييد خطوط السلالات الانحدارية للعمليات التآيضية ، ويمكن انجاز هذا بمقارنة النووتيدات الزمن قياسية، أي الحوامض النووية والبروتينات الداخلة في المسالك البيوكيميائية ، مع تركيز الاختيار على تلك البيوكيميائيات التي يمتد وجودها أقرب ما يمكن الى جذور الحياة السلف الاول • لكل من الفريدوكسين والسيتوكروم علاقة مشاركة بجهاز النقل الالكتروني في عملية استمداد الطاقة ، ولذلك فانهما قاعديان لا ريب• ولما كانت ترجمة المعلومات الجينية الى بروتينات تتم في الريبوسومات فان هذه تملك اسلافا سلالية ينبغي أن تمتد الى زمن ظهور الشكل البكتيري للحياة•

قامت مرغريت دايهوف وروبرت شفارتس[١]، في مدرسة الطب لجامعة جورجتاون بواشنطن دي‌سي بطرح شجرة سلالية للاسلاف البكتيرية مبنية على‌سياقات الفريدوكسين والرنأ الريبوسومية خمسة أس (5S ribosomal RNA) والسيتوكرومة‌سي للبكتيريا ، فقد اكتشفا ثلاث مناطق من التجدد او الابتداع التآيضي ظهرت في الدهر ما قبل الكمبري، وأقدمها هي سلالة لا هوائية ، بينما تعكس المنطقة الوسطى قيام التمثيل الضوئي المحرر للاوكسجين والتنفس الهوائي• ومن هذه المنطقة نشأت البكتيريا الهوائية والتعاشر التعايشي الذي افضى الى ظهور اليوكاريوت•

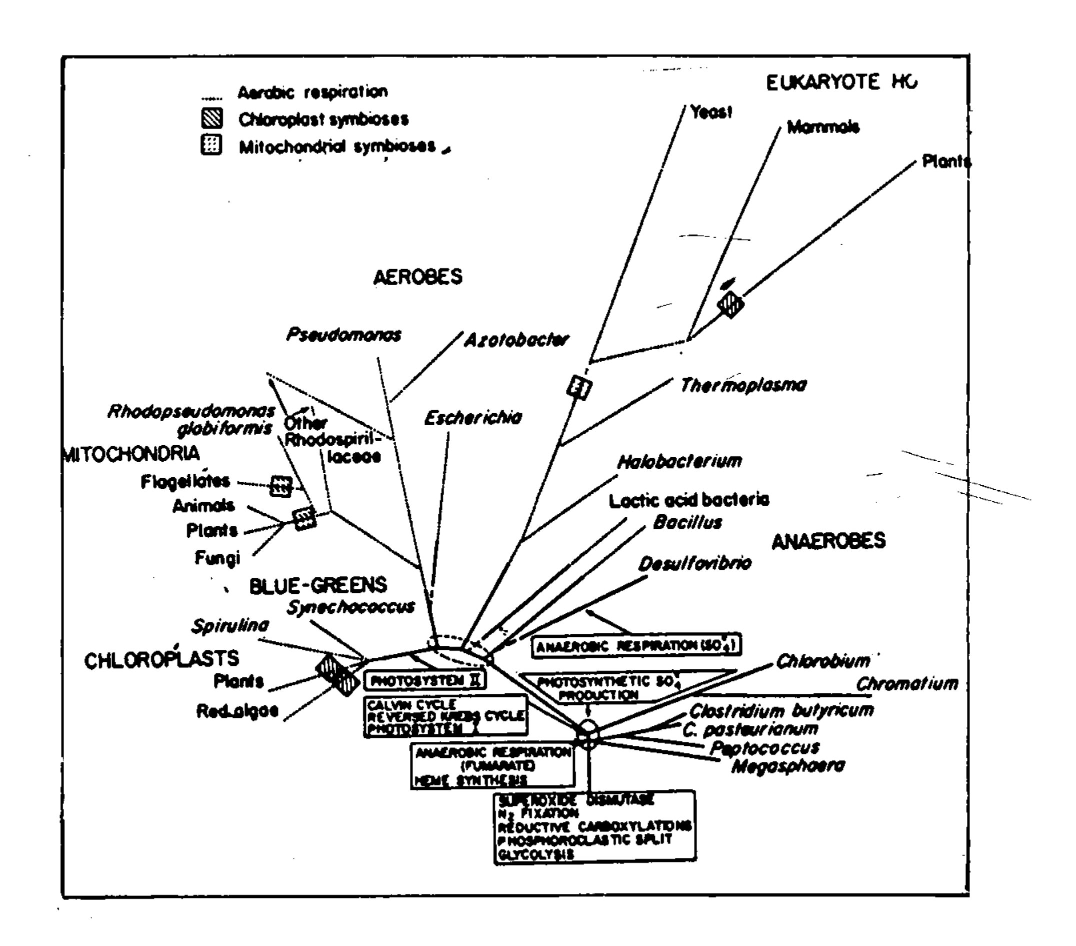
وبناء على سياقات الفريدوكسين تأتي الكلوستريديا نوع البكتيريا اللاهوائية التي تبدو الاقرب الى جذور الاصل السلف• فاللاهوائيات تستخدم الفريدوكسين في شطر حامض البيروفك لاستخراج فوسفات‌الاستيل acetyl phosphate = والاسيتيل هو الجذر الاساس او الشق (radical

ذو الصيغه CH3CO وهو مشتق من حامض الخليك ويتواجد فقط في مركبات أ وايضا في الكربكسجة الاختزالية لأحد مشتقات الانزيمة المساعدة أ الاسيلي أو الشق أساسي (reductive carboxylation of an acyl=acyl coenzyme A derivative) اسيل هو شق اساسي (radical) صيغته RCO مشتق من حامض، عضوى بنزع مجموعة OH منه • والكربكسجة carboxylation مركبة من كلمتي كاربون واوكسجين•) وعليه فان الفريدوكسين هو الذي اتاح للكلوستريديا العتيقة (ancient clostridia) لشد احتياجاتها من الأتب ATP ومنحها القدرة الاختزالية للتفاعلات البيوتمثيلية (biosynthetic) بالغلكلة وشطر البيروفات• وبعض الكلوستريديا تملك القدرة للقيام بالتمثيل الكلي للخلات (acetate) من ثاني اوكسيد الكربون اثناء التخمر ، بينما تقوم أخرى باختزال الفيومارات fumarate : ربما دخانات، أي املاح دخانية) الى خلات• وبناء على هذا يمكن الاستنتاج أن انواع الكلوستريديا الاولية كانت تملك المقدرة على اختزال ثاني اوكسيد الكربون وتمثيل الهيم او الصبغيم (heme) لسيتوكروماتها ، واستعمال الفوسفات كمتقبل الكتروني نهائي (terminal electron acceptor) لعمليتها اللاهوائية في استخراج الطاقة•

كما أن تثبيت النيتروجين ايضا من العمليات التي تتواجد في أنواع عديدة من الكلوستريديوم وايضا في بكتيرة الكبريت الاخضر كلوروبيوم (chlorobium) ، وفي أغلب انواع البكتيريا المختزلة للكبريت من صنف ديسالفوفيبريو (Desulfovibrio) • تتطلب عملية اختزال النيتروجين الى امونيا اربع جزيئات من ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP) لكل زوج من الالكترون، وست الكترونات من نازع او مختزل Reductant منخفض الطاقة مثل الفريدوكسين • تحمل الالكترونة (electron) بروتينة حديد (Fe-protein) وبروتينة موليبدنوم حديد (MoFe-protein) لا صلة لهما بالفريدوكسين وانما

يتضمنان ايضا عناقيد الحديد-كبريت (iron-sulfur clusters) •وفي العديدمن الحالات يمكن لمكون نيتروجناز (nitrogenase component) من نوع بكتيري تكملة المكون الآخر في نوع بكتيري آخر، مما يوحي الى انه قد تم الاحتفاظ بوظيفة البروتينات في تثبيت النيتروجين وان هذه الآلية خاصية بدائية بين العمليات الحياتية[٢].

كانت عملية التمثيل الضوئي اللاوكسجينية متواجدة لدى المتعضيات الاولية بزمن طويل قبل ظهور عملية تفكيك الماء بالتحفيز الضوئي المحررة للاوكسجين (oxygen-liberating photocatalytic dissociation of water) وبكتيريا الكبريت الاخضر (chlorobiaceae) وبكتيريا الكبريت الارجواني (chromatiaceae) هي متعضيات ضوء تمثيلية من اصل سلالي قديم للغاية تقوم باستعمال كبريت كبريتيد الهيدروجين بدلا من اوكسجين الماء كمصدرها من الالكترونات• في بكتيرة الكبريت الاخضر (chlorobium) يتم امتصاص الضوء باليخضور البكتيري (bacteriochlorophyll) الذي يجري استخدامه لاختزال ناد (NAD، أي ثاني نووتيد ادنين النيكوتيناميد) بسيل من الالكترونات من متقبل الالكترون الابتدائي عبر الفريدوكسين وريدكتاز (reductase) الناد، ثم يقوم الكبريت بامداد اليخضور البكتيري بالالكترونات مرة أخرى بواسطة سلسلة سيتوكرومية • أما بكتير الكبريت الارجواني، من جهة أخرى، فتقوم بتوليد الأتب (ATP) من جهاز نقل الالكترون دائري (cyclic) يقوم بدوره بتمرير الالكترون من المتقبل الابتدائي الى اليوبكوينون (ubiquinone) وسياق من السيتوكرومات عودة الى اليخضور البكتيري• تسمى عملية التمثيل الضوئي هذه بالجهاز الضوئي واحد (photosystem I) ، وتشمل أجهزة النقل الالكتروني الدائرية ، واللادائرية (noncyclic) ، والعكسية (reverse) وجميع المبتكرات الاولية ، ويفترض ان المتعضيات من هذا الصنف نشأت بعد الكلوستريديا بقليل•



الشكل ١/١٢ ـ شجرة السلالات التطورية للبروكاريوت واليوكاريوت مبنية على سياقات الفريدوكسين والسيتوكرومةسي.

وبينما تقوم بكتيريا الكبريت الاخضر والارجواني بانتاج الكبريتات باستخراج الالكترونات من الكبريت تستمد اللاكبريتية الارتجاجية (Desulfovibrio) باختزال الكبريتات • تحتفظ هذه البكتيريا بالعديد من الخواص للسلالة اللاهوائية مثل الكلوستريديا ولكنها في الحقيقة فريدة في الطريقة التي تختزل بها الكبريتات • تشتمل العملية على خماسي فوسفوكبريتات

الادنوسين (adenosine 5-phosphosulfate) وبروتينة حاملة نوعية تسمى السيتوكرومةسي. وعليه فقد اقترح ان اللاكبريتية الارتجاجية نشأت بعد البكتيريا الضوء تمثيلية المنتجة للكبريتات[٣]. قام مانفريد شيدلوفسكي (Manfred Schidlowski) من معهد ماكس پلانك بألمانيا الغربية باستحصال بيانات نظائرية (isotopic) حول عينات من درع الدان (Aldan Shield) بسيبريا والتشكيلات الحديدية المخططة أو الطبقية من كندا توحي بأن مختزلات الكبريتات ظهرت بين ما قبل الفين وثمانمائة (٢٨٠٠) مليون وثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون سنة خلت[٤].

بعد ذلك بزمن وقبل الفي (٢٠٠٠) مليون سنة ظهرت الطحالب الخضرزرقاوية من سلالة لا هوائية تستخدم الماء كمورد الكترونات لعملية النزع الضوئي (photodissimilation) لثاني اوكسيد الكربون . تستخدم طريقة التمثيل الضوئي المطلقة للاوكسجين هذه اليخضور أ (cholophyll a) وبرتينات الصفرعشبية (phycobiliproteins) كأخضبة مصاصة للضوء، وعلى نقيض البكتيريا الضوء تمثيلية الاخرى التي تستخدم NADH كعامل مختزل لثاني اوكسيد الكربون، تستخدم الطحالب الخضرزرقاوية NADPH والاهمية الهائلة لظهور الطحالب الخضرزرقاوية في النشأة هي انها اطلقت الاوكسجين السائب في البيئة (environment) الى أن في الاخير غيرت الصفات الكيميائية للبحار والجو وخلقت الاحوال المؤكسجة للتنفس الهوائي.

حمل التكييف الاضطراري لتواجد الاوكسجين المتعضيات على تنمية جهاز نقل الكتروني ينتهي بالاوكسجين، وتبين شجرة التطور السلالي أن ثلاث مجموعات من اللاهوائيات الاختيارية (تعيش في الهواء واللاهواء) هي القصبة او القويصبة (bacillus) وبكتيريا حامض اللبنيك ، والاشريشياكولي (Escherishia E. coli=coli) تشعبت من العرقة او الارومة (trunk) في حوالي نفس أوان ظهور الطحالب الخضرزرقاوية بالتكيف لتواجد الاوكسجين . وفي

هذا التكيف نمت القويصبات جهاز نقل الكتروني قائم على السيتوكروم، بينما طورت بكتيريا حامض اللبنيك جهازا ينتهي بالفلافين flavin = واحد من مجموعة اصباغ صفراء تقع في بعض المنتوجات النباتية او الحيوانية أو تنتج اصطناعيا)• أما الايشريشيا كولي، من جهة أخرى، فتملك سلكين لنقل الالكترون ينتهيان بالاوكسجين ويعتمدان على مستوى توتر الاوكسجين • وفي أحوال عالية التشبع بالهواء ينتهي المسلك في السيتوكرومةسي، انما في التوترات او الضغوط الاوطأ ينتهي في السيتوكرومة او «دي»• وتوحي هذه الوقائع للمكونات النهائية اللامنتسبة للتنفس الهوائي بأن التكيف للاوكسجين نشأ على حدة مستقلا في مناسبات عديدة منفصلة•

وما أن ترسخ التنفس الهوائي ودورة كريبس (Krebs cycle) للغلكلة الكلية في عرقة السلالة البروكاريوتية ، حتى أدت الزيادة الكبرى في الطاقة المتوفرة الى ظهور الخلية اليوكاريوتية الأكبر حجما والاكثر تعقيداء تتطلب عملية الانقسام الفتيلي والتمثيل الحيوي (biosynthesis) للمركباتالستيرويدية مجموعة من المركبات تشمل الستيرول sterols ، والحوامض الصفراوية ، والهرموناتالجنسيةالمتميزة بنيةحلقة الذرةالكاربونيةللاستيرول • sterol = مجموعة من الكحول اللامشبعة الدائرية الصلبة الكوليسترول ، تتواجد في الانسجة النباتية والحيوانية)، والحوامض الدهنية البولي غير مشبعة (polyunsaturated) ، وغيرها من المواد المنفردة باليوكاريوت ، تتطلب كلها الاوكسجين الجزيئي، ونشأت هذه القدرات البيموكيميائية مع تغير البيئة•

وتفيد دايهوف وزملاؤها[٥] ان الفرع اليوكاريوتي صدر من الجزء الوسط من الشجرة السلالية التطورية مع نوعين بكتيريين هما البكتيريا الملحية (Halobacterium salinarium)والمستوعبة الحرارة والحوامض (Thermoplasma acidophilum)المنبثقة من السلالة المضيفة • وهذه النظرية

مدعمة بتشابه جهاز تمثيل البروتين في البكتيريا الملحية بجهاز اليوكاريوت، وان المستوعبة للحرارة تنقصها الجدران الخلوية انما تملك بروتينات هيستونية او شبه نسيجية لوقاية الدنأ فيها، وتتضمن بروتين شبـه اكتيني (actin = نوع من البروتين في العضل) وتستخدم اوكسيداز الفلافين (flavin oxidases) لمؤايضــة اوكسجينهـا • غير ان هــذا التفسير ليس مقبولا لــدى جميع البيولوجيين[٦]• اذ، يعتقد كارل ووزه[٧] من جامعة الينوي ان هذه الانواع اللاعادية أقدم بكثير وتمثل نوعا ثالثا من الحيــاة ازدهر حين كانت الارض مختلفة كل الاختلاف عما هي عليه اليوم•

استخدم ووزه التسبيق الجزيئي ايضا لرسم السلالة التاريخيةللبكتيريا ولكنه بنى نتائجه كليا على مقارنة رنأ ريبوسومي نوعي• تتألف الريبوسوم من جزيئات الارنأ مضفورة بالبروتين ، ونموذجيا تضم الخلية البكتيريــة ما بين عشرة الى عشرين (١٠ــ٢٠) الف ريبوسومة • ولأن الرنأ الريبوسومية بقيت دائمة الوظيفة طوال تواجد الحياة فأن تنفا من الجزيئات تغيرت في غــاية البطء على مر الدهور وبما يجعل غير محتمل أن يكون السياق السلفالمشترك قد اندثر كليا• لا توجد نسخ طبق الاصل لأن التبــدلات الطفرة قد غيرت السياق الاصلي انما لابد انه يوجد باقيا في هذه الجزيئات الضخمة آثــار للرنأ الريبوسومية الاصلية وجينتها والتي ظلت عائشة عبر الزمن النشوئي• توجد ثلاث رنأ ريبوسومية موسومة 23S، 16S، 5S في وتيرة ترسبها

في جهاز النبذ المركزي الفائق السرعة ultracentrifuge ملاحظة: يشيرحرف S الى عبارة سفيدبرغ وهي مقياس لوتيرة الترسب في جهــاز النبذ المركزي الفائق السرعة ، ومقياس غير مباشر للوزن الجزيئي•) أما اعداد هذه الرنأ من النووتيدات فهي على التوالي (٢٩٠٠)، (١٥٤٠)، و(١٢٠) انما من حيث

التمييز الخصائصي ليست الرنأ الـريبوسومية الصغيرة 5S مؤشرا دقيقا للنسابة السلالية بقدر ما هو شأن الرنأ الأطول، وبما ان الرنأ الريبوسومية (23S) تبدي أحيانا فوارق شاذة في السياق من نوع الى آخر، فقد اتخذت الرنأ الريبوسومية (16S) كالنموذج الخصائصي .

عندما بدأ ووزه بتقصي الانساب البكتيرية في عام ١٩٦٩ بمقارنةسياقات الرنأ الريبوسومية (16S) لم تكن التكنولوجيـا المطلوبة لتحديد سيـاق النووتيد في الجزيئة برمتها ممكنة تكنيكيا مثلما هي اليوم. غير انه كان من الممكن تسييق شدفا قصيرة، أو نووتيدات (انصح التعبير. "olignucleotides" اشتمل الاسلوب على وشم الرنأ الريبوسومية (16S) من نوع معين بالفوسفور المشع ٣٢. واستخدام الانزيمة ريبونوواز (ribonuclease) لهضم الجزيئة . بعد ذلك جرى تكسير الهضيـم (digest)بالتقطير التفـاصلي الى النووتيدات (oligonucleotides) بطريقة التشريد الكهربـائي الـورقي الثنـائي البعـد (two-dimensional paper electrophoresis) ثم جـرى تسييق كل نووتيـدة ، وأسفرت العملية عن جدول تفصيلي كبير لسياقات المتعضية ، كانت مقارنة جداول من متعضيات مختلفة مماثلا لمقارنة سياقات رنأ الريبوسوميـة (16S) فيها، ويمكن استخدامها في رسم الانساب السلالية التاريخية[٨].

يؤدي هضم الرنأ الريبوسومية (16S) بالريبونوواز (T1) (T1 ribonuclease) الى تكسر الجزيئة الى عدد من الشدف مع بعض منها بطول (١٥ــ٢٠)فضلة. تضمنت النووتيدات البالغ طولها (٦) وحدات أو أكثر ما بين (٥٠٠ــ٦٠٠) فضلة، او خمسا وثلاثين بالمائة (٣٥٪) من مجموع(١٥٤٠) نووتيدة في الجزيئة. تقريبا دائما ظهرت الاوليغومرات -oligo= قليل، صغير، ناقص) المتضمنة لأكثر من خمس نووتيدات مرة واحدة فقط كسياق في جزيئة رنأ ريبوسوميـة (16S). وعليه، كلما تضمنت الرنأ الريبوسومية 16S .المأخوذة من متعضيات

مختلفة نفس السياق السداسي الوحدة ، كانت احتمالية كونها شبيهة صادقة تقريبا مؤكدة.

قامت جماعة من جامعة الينوي بجرد خصائص الرنأ الريبوسومية مما يقرب من مائتي (٢٠٠) نوع من البكتيريا واليوكاريوت • وفي اثناء عزل البكتيريا بالتعاون مع رالف وولف (Ralph S. Wolfe) من قسم الميكروبيولوجيا ظهرت علاقة غير متوقعة • اذ لم تقع الميثانوجين ، وهي المتعضيات التي تعيش في بيئات خالية من الاوكسجين وتولد الميثان باختزال ثاني اوكسيد الكربون، لم تقع في المجموعة السلالية مع البكتيريا. كانت هذه نتيجة غير متوقعة • فالميثانوجين تبدو كالبكتيريا في مظهرها وقد اعتبرت دائما كأفراد في تلك المجموعة ، لأنها من نفس الحجم ولا تملك غشاءً نوويا، والدنأ فيها صغير مثل نظيره في البكتيريا ، مع ذلك، ابانت مقارنة الرنأ الريبوسومية ان الميثانوجين لا تمت الى البكتيريا بصلة اوثق منها الى اليوكاريوت.

وأعطى المزيد من التحليلات نفس النتيجة بالنسبة الى صنفين آخرين من المتعضيات هما الملحيات المتطرفة (extreme halophiles) ومستوعبات او محبات الحوامض والحرارة (thermoacidophiles) • والملحيات المتطرفة هي البكتيريا تتطلب تركيزات عالية من الملح وتنمو بسرعة في الاجاج المشبع ، وتتواجد على تخوم البحار وفي بحيرة الملح العظمى والبحر الميت ، وتضفي لونا احمر على احواض تبخير الملح وهي المسؤولة عندما يفسد السمك المملح.

اما الحامض حراريات ، من جهة أخرى، فهي شهيرة بتحملها لدرجات الحرارة العالية والاحوال الشديدة الحموضة • وهناك جنس منها هو الكبريتي الفص (sulfolobus) يتواجد في الينابيع الكبريتية الحارة حيث ترتفع الحرارة فوق تسعين (٩٠°) مئوية وينخفض (يدس = PH) دون (٢)• وقد تم العثور على جنس آخر منها هو الثرموبلازما (Thermoplasma) في الاكوام المضطرمة

من نفايات الفحم.

ينبغي أن تنعكس الفوارق السلالية بين هـذه المتعضيات والبكتيريا النموذجية في الفوارق البيوكيميائية، وقد وجد أن هذا هو الواقع. من السمات العامة للبكتيريا هو جدارها الخلوي، وهذا يتضمن مشتقا للسكر هو حامض الميوراميك (muramic acid) وهذا هو وحـدة قاعدية لبوليمر معقد يسمى بالهضميتيدوغليكان (peptidoglycan) كان معلوما ان اصناف الملحيات والحامض حراريات مستثناة من التعميم، لكن ذلك لربما كان مجرد نزعة مزاجية . فعندما أجريت مقارنة أسلوبية تبين ان جميع الاصناف الثلاثة هذه ، وهي الميثانوجين، والملحيات، والحامض حراريات، لا تتضمن الجدار الخلوي من صنف الميورين (murein) البكتيري النموذجي. انما بدلا من ذلك وجد أن الاصناف الثلاثـة تضم عددا من انواع الجدار مختلفة للغاية. فبعضها يتضمن جدران ميورين كاذبة (pseudomurein) الشبيهة بالجدران البكتيرية النموذجية الا انها لاتحتوي على حامض الميوراميك[٩]، وبعضها له جدران مصنوعة من وحدات البروتين الفرعية[١٠] (protein submits) ، وبعضهـا جدرانهـا مصنوعة من البـولي سكاريد[١١] (poly saccharides)، وبعضها، وهي الميكوبلازمـا (mycoplasma) لا تملك أية جدران على الاطلاق[١٢].

وعند تحليل الاغشية الخلوية للمجموعة وجـد أن مركباتها الدهنيـة (lipids) كانت مختلفة بوجه بارز. تتألف المركبات الدهنية لكل من البكتيريا واليوكاريوت من حوامض أمينية مستقيمة السلاسل مربوطة بجزيئة الغليسرول (glycerol) من خلال الـرابط الايستري (ester linkage-co-o-) . كمـا ان المركبات الدهنية للاصناف الثلاثة المذكورة هي ايضا غليسريدية (glycerides) ولكنها تختلف باحتوائها على سلسلتين من الهيدروكربون طويلتين مربوطتين بالغليسرول برابط أثيري (ether linkage-O-). أي، بعبارة أخرى، ان المركبات

الدهنية، بدلا من كونها حوامض دهنية ثنائية الايستر (diester) ، هي ثنائية الاثير (diethers)تتألف من الغلسرول وجزيئتين من الكحول فيتانول[١٣] (phytanol) •

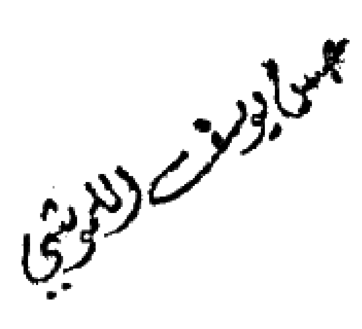
تختلف هذه المجموعة الصغيرة من المتعضيات الشاذة عن اشكال الحياة بميزة واضحة اضافية أخرى• تضم عملية تمثيل البروتينات في جميع المتعضيات مسلسلا قاعديا من جزيئات الرنأ الناقلة التي تحمل حوامض امينية معينة الى الرنأ الرسول لالحاقها بسلسلة الهضميتيد ، وفي جميع المتعضيات تضم الرنأ الناقلة قاعدة من اليوراسيل (uracil) ميثلة (methylated) لتشكل الثايمين، ما عدا في الميثانوجين والملحيات المتطرفة والحامض حراريات • ففي هذه المتعضيات الثلاث لم يجر تحويل اليوراسيل الى ثايمين، انما قد تم تحويره لتشكيل اما يوريدين كاذب (pseudouridine) أو الى نووتيدة أخرى لا تزال لم يتم تشخيصها[١٤]•

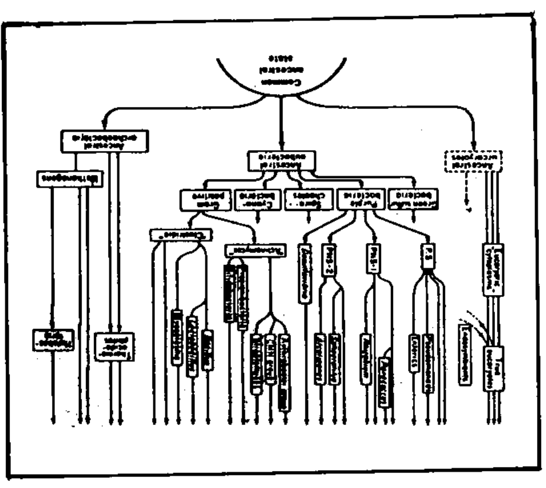
وأستنادا الى هذه النتائج اقترح ووزه (Woese) انه لم يكن يوجد نوعان من الحياة ، وانما في الواقع ثلاثة انواع، وأطلق على النوع الثالث اسم الاركي بكتيريا أو البكتيريا الاركية[١٥]• اذن، اذا كان يوجد في الحقيقة ثلاث ممالك اولية (primary Kingdoms) ، الاركي بكتيريا ، والبكتيريا الحقيقية ، واليوكاريوت ، فان هذا الامر يثير تساؤلا جديدا ، وهو: في اية مرحلة من النشوء تشعبت أشكال الحياة المختلفة ، وماذا كان سلفها الاصلي المشترك؟

يبدو في منطوق الجداول التفصيلية الريبوسومية ان الاركي بكتيريا والبكتيريا الحقيقية واليوكاريوت تقع على ابعاد متساوية عن بعضها في الزمن النشوئي• وبدلا من ظهور اليوكاريوت عن اتحاد لليوكاريوت يبدو من الممكن أن ربما الاركي بكتيريا أيضا شاركت في الخلق التعايشي الضمني أو الباطني•

يوجد على الاقل جينة سيتوپلازمية يوكاريوتية واحدة تختلف عن الاخريات.
على ما يظهر أن النواة اليوكاريوتية تتضمن ثلاثة انواع من الجينات، التي لربما هي من المادة الجينية للخلية المضيفة ومن الجينات المستملكة من جنومات الاورغانيلات . غير انه قد وجد الجينة في البروتين أ (A) الريبوسومي ليست من أصل بروكاريوتي وانما من أصل اركي بكتيري[١٦].

عند استثناء الاركي بكتيريا، تضم البكتيريا كشعب (class) ، بالرغم من تنوعها الظاهر ، نسابة سلالية وثيقة . توجد ثمانية تقسيمات بكتيرية كبرى يبدو انها قد تشعبت من بعضها البعض خلال فترة من الزمن قصيرة نسبيا بحيث انه يصعب معها التثبت من ترتيب تعاقبها بالضبط. مع ذلك، فهي جميعها تضم نفس الصنف من جدار الخلية ، واليتها لتمثيل البروتين قياسية تماما للبروكاريوت واليوكاريوت على حد سواء.





الشكل ٢/١٢ ـ مخطط بياني يوضح المنحدرات السلالية الكبرى للبروكاريوت

أما بالنسبة الى الاركي بكتيريا، من جهة أخرى، فانه بالرغم من ضآلة العدد المعروف منها، تشير المقايسات السلالية العميقة واحصاءات الخصائص الصنفية الى انها تشمل تنويعة لا تقل عن نظيرتها في البكتيريا وحتى أعظم منها. توجد في الاقل اربعة اصناف جدارية كبرى في الاركي بكتيريا وذلك مقابل الصنف الوحيد الموجود بين البكتيريا، وبينما يتألف بوليمراز الرنأ في البكتيريا من بنية ذات وحدات فرعية ثابتة، فان بنية البوليمراز (polymerase) في الاركي بكتيريا مختلفة[١٧]. وهذا ربما يعني ان الزمن الذي تم فيه الانفصال بين الاركي بكتيريا والبكتيريا من سلف مشترك يطعن في العتاقة بحيث انه حتى وظيفة بوليمراز الرنأ كانت لا تزال في مرحلة التطوير والتهذيب.

ان الاركي بكتيريا مرموقة بتطرف البقع البيئية التي تقطنها (environmental niches) . توجد الميثانوجين منتشرة على نطاق واسع ولكنها لا يعثر عليها اعتياديا لأن الاوكسجين يقتلها، وتلازم فقط الاماكن التي يكثر فيها ثاني اوكسيد الكربون والهيدروجين، ومعنى هذا انها تتواجد في تعاشر وثيق مع البكتيريا الاخرى التي تنتج هذين الغازين مثل الكلوستريديا التي تقوم بمؤايضة المواد العضوية المتفسخة وتطلق الهيدروجين كناتج تلف. وعليه فأن الميثانوجين تتواجد في رواسب المستنقعات السبخة والجداول والبحيرات الغنية بالنباتات المتفسخة حيث تقوم بأنتاج ما يسمى «بالغازات المستنقعية الملحية أو التصاعدات الاجامية.» كما تتواجد ايضا في المسالك المعوية للحيوانات في العموم وفي كروش السدائم والمجترات الاخرى. ويمكن عزلها من قيعان البحار والينابيع الحارة.

تعيش الملحيات المتطرفة في أحوال قاسية فوق العادة لا تطيقها معظم المتعضيات الأخرى . فهي تزدهر فقط في التركيزات الملحية العالية حيث تضطر الى استدامة مدرج تركيز كبير عبر غشاء خليتها لمنع المستوى

الايوني الباطني فيها من التجاوز ولنقل المواد الى الخلية وافرازها منها. تملك الملحيــات المتطرفة آلية التمثيل الضوئي بسيطة نسبياً وليست مبنيــة على اليخضور وانما على صبغة مغطاة بالغشاء تسمى بالرودوبســن البكتيري. Rhodopsin = صبغة بروتينية ارجوانية توجد في عصيات الشبكية تتحول بفعل الضوء وضرورية للرؤية في الاضاءة الضعيفة).

والحامض حراريات ايضا تضطر الى استدامة مدرج واسع عبر غشاء خليتها، ولكنه مدرج (يدس PH:)للحفاظ على (يدس) محايد تقريبا في باطن الخلية اثناء عيشها في سوائل شديدة الحموضة. يتوقف هذا المدرج على درجات الحرارة العالية في ينابيع الكبريت حيث تعيش ، وعند وضع الكبريتية الفص أو السلوفولوباس (sulfolobus) في درجة حرارة اوطأتتوقف عمليتها التآيضية عن الاشتغال، مما يؤدي الى عجزها عن الحفاظ علىحياديتها الباطنية ، وفي النهاية تموت.

تنتمي الاركي بكتيريا الى «شعب» أو أمــة من المتعضيات تعيش في احوال قاسية جدا ومحالة بالنسبة الى اشكال الحياة الاخــرى، وتعتبر في العموم بأنها تمثل امتدادا للعالم الحى الى هوامش المنطقة الحياتية عنطريق التكيف. غير أن الجواب هو ربما أنها لاجئة من عالم متغير كانت في زمن ما سائدة فيه . أما ووزه(Woese)فيحاجج ان التآيض وآلية السيطرةاللاعاديين في الاركي بكتيريا ربما يعكسان الاحوال التي كانت سائدة زمنا حين كانت الحياة تظهر لأول مرة على أرض شابة[١٨].

الفصل الثالث عشر ـ الطاقويات

كلنا لنا سلالة أسلاف تمتد في خط متواصل يصل الى ما قبل ثلاثة الآلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت. فقد كان في لحظة ما في ذلك الماضي البعيد الى حد اللامعقول أن تجمعت المواد معا على الارض البدائية لتشكل كيانا ملك القدرة على امتصاص الطاقة واستخدامها للنمو وتركيب وحدات متزايدة التعقيد أبداه وعلى نقيض عالم الجماد الذي يمتص الطاقة لمجرد أن يزداد اختلالا ، ملكت المنظومات البيولوجية التي تكونت القدرة على توجيه الطاقة الى التنظيم والاتساع المتزايدين . وهذه القدرة التي نرثها من الخلايا الحية الاولى تشكل الصفة المميزة لجميع الكائنات الحية.

تقوم الخلية البيولوجية بتمثيل مقوماتها العضوية (constituents) بمسلسل من التفاعلات البيوكيميائية تحفزها الانزيمات. أما كيف امتلكت الانزيمة على هذه القوى التحفيزية الباهرة فقد بقي سرا دفينا طوال عقود عديدة، انما لازم هذا السر مشكلة أكثر أهمية وخطورة . فالمنظومةالبيولوجية تقوم بتمثيل مكوناتها ببناء جزيئات معقدة من مواد كيماوية بسيطة ، وتنمو وتتكاثر ، وتنتج ليس صنفا واحدا او اثنين من البيوكيميائيات، وانما حرفيا بالآلاف ، كلها مشتبكة على نحو منتظم للغاية . وهذه جميعها وظائف تحتاج الى طاقة. وبالنتيجة فأن الحياة تخلق النظام من الفوضى.

أقرت المفاهيم الاساسية للطاقة في السنوات الاربعينية من القرن التاسع عشر، وذلك بزمن طويل قبل تفهم طرائق العمليات الحياتية . ان القانون الاول في الحركية أو الدينامية الحرارية (thermodynamics) يقربتباقي الطاقة، وبالمبدأ القائل بعد م امكانية اقتناء أو فقدان الطاقة ولا المادة ضمن منظومة مغلقة . ويتناول القانون وصف كيفية تدفق الطاقة السائبة أو الطليقة،

بصيغة (G△ او ديلتا جي) ضمن المنظومة والكون ، والنسق المنتظم على حد سواء، أي الطاقة الكامنة اللامتاحة او الانتروبيا (entropy). تتدفق الطـاقة من مناطق التركيزات العالية منها الى المناطق حيث تكون تركيزاتها منخفضة، ومثل الماء، تنزع الطاقة الى الاستواء، كما يشهد على ذلك انسياب الحرارةمن الاشياء الحارة الى الأخرى الباردة .

ينطبق هذا الاتجاه لتدفق الطاقة على جميع أحوال الطاقة الباطنية . فالنظام المستحدث بأنشاء ناطحات سحاب أو جزيئات معقدة من توزيع أقل انتظاماً للمادة يمثل تأثيلا أو استثمارا للطاقة، انما يتعذر الحفاظ باستمرار لا محدود على تركيزات من الطاقة في نظام يقع فوق المستوى العام بـدون مواصلة ضخ الطاقة فيه لصد التيار نحو التوازن.

وعليه ، فأن كل عملية لتركيز الطاقة بهدف بناء نظام يعمل ضد تيار الطاقة . مع ذلك، هذا هو تماما ما تفعله المنظومات البيولوجية . ولرؤيـة كيفية امكانية هذا بوسعنا أن نعتبر المنظومة البيولوجية بمثابة ظاهرةمنحصرة محليا، آي في مكان تواجدها فقط، يمكن فهمها على افضل وجه بمقـارنـة سلوكها بالسلوك المماثل للماء . فبالرغم من ان الماء ينزع الى البحـث عن مستوى. توجد أمواج ترتفع فوق المستوى الى وضع غير مستقر علىحساب الجوف الحاصل بينها والمنحدر نحو الاسفل. وهكذا ايضا تنزع عشوائيـة الكون للديلولة الى مستوى مشترك للتوازن الحركي الحراري، لكنالامواج المنتظمة ترتفع فوق مستوى التوازن على حساب الطاقة في المواد الاخرى.

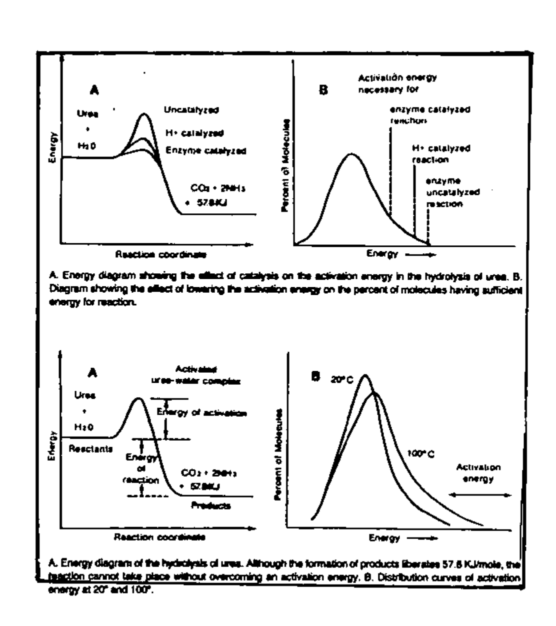
ان العملية الاجمالية لهذا لا تناقض القانون الثاني. فالنباتـات، وهي الحواشد الابتدائية للطاقة الشمسية ، تمتص من الشمس طاقة أكثر ممـا تختزنه كطاقة كيميائية ، بحيث ان مجموع العملية ليس الا سلسلة منحدرة من الاحداث . ثم تقوم الحيوانات باستهلاك النباتات لبناء مكوناتها، والطاقة

الكيميائية المختزنة في النباتات هي التي تقدم الطاقة الايضية للحيوانات.

وبسبب حواجز الطاقة التي تحد من سير التفاعلات الكيميائية يوجد نطاق ضيق من درجات الحرارة تكون التضاريس الجزيئية الدائمة فيه نوعا ما معقدة. يمكن أن تتكون الجزيئات في أحوال من الطاقة العاليةقصيرة الامد وتتجمد في البنى الكيميائية بطاقات كامنة، وبوسع بعضهذه الجزيئات أن تتفاعل كيميائيا لامتصاص الطاقة وتوجيهها لرفع الطاقة الباطنية في المكونات والبنية الخلوية الدقيقة المعقدة . وهذه هي القاعدة الفيزيائية التي قامت الحياة عليها، مستخدمة طاقة الشمس لادامة ذاتها.

جميع التفاعلات البيولوجية هي تفاعلات تلقائية . ومعنى هذا هو ان التفاعلات تصاعدية من مستوى التوازن ومدفوعة طاقويا للتحرك نحو التوازن، رغم انها لا تبدي شيئا عن وتيرة التفاعلات . فهي كالصخرة على ناحية الجبل، تنزع هذه التفاعلات البيوكيميائية الى الركود ما لم تنلها الدفعة . وعلى سبيل المثال ، يمكن أن يبقى البنزين او السكر في الهواء زمنا لا محدودا تقريبا دون أن تبدر منهما أية علامة للاحتراق بالرغم من أن تأكسدهما عملية تفاعلية طاردة للحرارة. انما لكي يبدأ التفاعل يلزم أن تتقطع أربطة الكاربون ــ الهيدروجين (C-H) الضعيفة قبل أن تتكون الاربطة الكاربونية ــ الاوكسجينية (C-O) والاوكسجينية ــ الهيدروجينية الاقوى. تكون هذه الاربطة الكربونية الهيدروجينية (C-H) مستقرة تماما في درجة حرارة الغرفة. أما اذا لزم حصول التفاعل بسرعة فانه يتوجب تقديم طاقة كافية ، تسمى بطاقة التنشيط (activation energy)، لاتاحة تقطيع الاربطة الكربونية ــ الهيدروجينية . ومتى ما يتم هذا تصبح الطاقة الناتجة عن التفاعل كافية لامداد العملية بالوقود في تفاعل مسلسل.

تملك التفاعلات التلقائية الطاقة الكامنة لاستمرارها تلقائيا، ولكنها تفعل ذلك فقط اذا أمكن اقتحام حاجز الطاقة المنشطة ، وتقوم الانزيمات بتخفيض هذا الحاجز بتكوين عقدة (complex) وسيطة وقتيـة مع العامل المتفاعل على اضعاف الرابط المكون للحاجز. وهذه القدرة لا تجعل من الانزيمات محفزات (catalysts) نوعية للغاية فقط، وانما تجعلها ايضا اكثر فعالية من التحفيز الحامضي أو القاعدي. وبفضل طاقات التنشيط الكائنة في التفاعلات الكيميائية الداخلة في الانشطة الخلوية ، تتمكن الانزيمات من ضبط العمليات الحياتية والتحكم بها بدقة صارمة . واذا لم تكن التفاعلات التلقائية تضم حواجزا للطاقة وكانت تبدأ فوريا ، لكانت الحياة مستحيلة .



الشكل ١/١٣ – رسوم بيانية توضح تفسخ اليوريا .

بالرغم من كل هذا ، ان النشاط الرئيس للمنظومات البيولوجية وأساس النمو والتكاثر هو تمثيل أو تصنيع الجزيئات المعقدة من مركبات صغيرة. وهذه التمثيلات ليست تفاعلات تلقائية، بل تحتاج الى امداد من الطاقة . وهي في الجانب الانحداري من التوازن ، والمنتوجات تتضمن طاقة أكثر من المتفاعلات (reactants) . وعليه، فان هذه ليست التفاعلات التي تنطلق تلقائيا وبالنتيجة يتعذر تنفيقها بواسطة محفز. انما يخال للناظر المستطرق أن ذلك هو ما تفعله المنظومة البيولوجية تماما.

فكيف يمكن هذا، اذن؟

بدأت الطريقة التي تنجز بها الخلية التحويلات الكيميائية تبرز واضحة للدارسين خلال الفترة ما بين عامي ١٩٣٠ و١٩٤٠ حين تم اكتشاف التفاصيل الكيميائية الخاصة بالتجريد البيوكيميائي للغلوكوز . ادرك البيوكيميائيون أن لابد من وجود اسلوب تستخدمه الخلية في تقبل الطاقة الكيميائية وتحويلها من مركب الى آخر، وقد وجد ان العوامل البيوكيميائية التي تقوم بهذا الدور هي المركبان الفوسفاتيان ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP :أتب) وثنائي ADP (أدب) (adenosine di-and tri-phosphate) .

في عام ١٩٤١ اورد فريتز لبمان[1] (Fritz Lipmann) فكرة الرابط الفوسفاتي العالي الطاقة ، ومعها بدأت الاوساط العلمية تفهم بوضوح دور هذه المركبات في البيوطاقويات (bioenergetics) . ان الاتب مركب ذو طاقة كامنة عالية، وعندما يفقد مجموعة فوسفاتية بالحلمأة لتكوين الأدب والفوسفات اللاعضوي، ، يؤدي ذلك الى تحرير كمية من الطاقة كبيرة لحد ما . في الأحوال القياسية أو الامامية (standard) التي يكون فيها رقم يدس ٧ (معكوس درجة تركيز الهيدروجين في المحلول PH ودرجة الحرارة خمس وعشرون (٢٥°) مئوية ، يبلغ تغير الطاقة السائبة الامامي، ديلتا جي $\Delta G'$ ، في حلمأة الأتب

بمقدار ــ٥ر٣٠كج (30.5 Kj—) • (ملاحظة : في الواقع ، في الاحــوال الخلوية ، يشـكل المنغنيز ++(++Mg) عقــدات (complexes) متبــاينة الانتساب مع الأتب والأدب والفوسفات ، وهذا مع عوامل أخرى تؤثر على توازن التفاعل، ينزع الى رفع طاقة الحلمأة للأتب الى قيمة او رقم أعلى•).

$$ATP + H2O \longrightarrow ADP + P1 \triangle \bar{G} = 30.5\ KJ.$$

والطاقة السائبة المتغيرة بقدر DG هي الطاقة المحركة للتفاعل، مع بث الحرارة في المحيط بنفس الاثناء• يكون رقم أو قيمة تغير الطاقة سالبة (—) عند تحرير الحرارة لأنها تمثل تنقيصا في محتوى الطاقة الكلي• وتبلغ معادلة اطلاق الطاقة $\triangle G = O$ (ديلتا جي=صفر) عند حلول المنظومة في ألتوازن في درجة حرارة وضغط ثابتين• يكون التفاعل التلقائي قيمة سالبة لتغير الطاقة السائبة، وكلما ارتفعت القيمة السالبة هذه كلما كانت قوة التفاعل الدافعة أعظم• (ملاحظة: تمثل جي G الرمز لتسارع الجاذبية ، وتشير ديلتا الى الترتيب الذري لعنصر ما بالنسبة الى ذرة كاربون معينة في المركب)•

لذلك، فاذا أرادت خلية انجاز عملية تمثيل يضم الناتج فيها مستوىمن الطاقة أعلى منه في المتفاعلات أو العوامل المتفاعلة، أي ان التفاعل تصاعدي، فان التفاعل هذا يتغير الى تفاعل تلقائي بتصنيع مشتق منشّط من المتفاعل• يتم هذا بنقل فوسفاته الى المتفاعل من خلال عملية الفسفرة وبواسطة ثلاثي فوسفات الادنوسين (أتب)• ومن الامثلة على هذا، هي عملية البيوتمثيل أو التمثيل الحيوي (biosynthesis) للغلوتامين (glutamine) وهو حامضاميني مهم في البروتينات • تستلزم عملية تكوين رابــط اميدي (amide bond) مع حامض الغلوتاميك والامونيا طاقة قدرها (٢ر١٤)كج• من جهة أخرى، يمكن تحويل حامض الغلوتاميك الى انهايدريد مختلط بالتفاعل مع الأتبفي تفاعل تلقائي• فيكون هذا المشتق، فوسفاتالغلوتاميل (glutamyl phosphate)

الآن ذا مستوى طاقة أعلى من الغلوتامين بحيث أن التفاعل مع الامونيالتكوين الغلوتامين يصبح تفاعلا انحداريا ينطلق تلقائيا ، واجمالي حاصل تحويل حامض الغلوتاميك الى غلوتامين ذي طاقة أعلى باستخدام أتب ذي مستوى من الطاقة أعلى بدوره هو (٣ر١٦كج) صافية من الطاقة ، وهذه تكفي لدفــع التفاعل جيدا لانجاز الناتج.

Adenine
D-ribose
Adenosine
Adenosine monophosphate (AMP)
Adenosine diphosphate (ADP)
Adenosine triphosphate (ATP)

الشكل ٢/١٣ ـ بنية مشتقات فوسفات الادنوسين

هذ ههي الطريقة الاساسية التي تستخدمها الخليــة لتمثيــل الروابط الايسترية والهضميتيدية والغليكوسيدية (ester linkages, peptides bonds, glycosidic couplings) ، وجميعها تفاعلات حرارية باطنية تحتاج الى الطاقة . والطاقة الكيميائية في الرابط الفوسفاتي للأتب، التى تفوق الى حد كبير

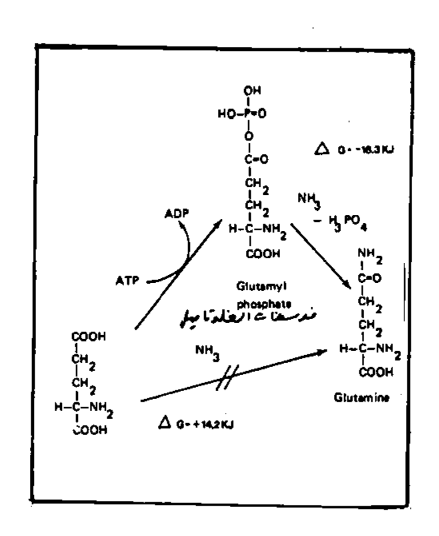
الطاقة المضافة الى المنتوجات ، هي مصدر الطاقة لجميع عمليات التمثيل هذه.

لكي تقوم الخلية بعملياتها التمثيلية العديدة ، تحتاج الى توليد الأتب باستمرار. تقوم النباتات بآلياتها الضوء تمثيلية باتتاج الأتب الخاص بها من خلال عملية معقدة مستخدمة طاقة ضوء الشمس الذي تمتصه والذي، بدوره، تستخدمه لاختزال ثاني اوكسيد الكربون الى كربوهيدرات بمثابة طاقة كيميائية مختزنة . كما ان النباتات تتضمن الميتوكوندريا ايضا وهذه تعينها على توليد الأتب من خلال تجزئة ، أي تحليل، احتياطيها من الكربوهيدرات.

تبلغ كمية الطاقة في مولة (Mole) من الغلوكوز مقدار (٢٨٧٠كج) وهي كمية الحرارة المطلقة او المبثوثة عند اكسدة الغلوكوز بالاوكسجين الى ثاني اوكسيد الكربون والماء. (ملاحظة: يبلغ وزن المولة الواحدة من الغلوكوز (١٨٠) غراما.) .

$$C6H12O6 + 6O2 \longrightarrow 6CO2 + 6H2O \; \triangle G = 2870 \;\; Kj—2870/TJ$$

والحيوانات التي تستخدم النباتات كطعام لها تستمد حاجتها من هذه الطاقة الكامنة في الاربطة الكيميائية للسكر لتوليد الأتب الخاص بها ولاستخدام الحرارة للحفاظ على درجة حرارة ابدانها. وهي لا تحتاج الى جميع الطاقة المثبوتة كحرارة ، فتختزن قدر ما تستطيع في أربطة كيميائية عالية الطاقة لمركبات كالأتب لاستخدامها في عملياتها التمثيلية.



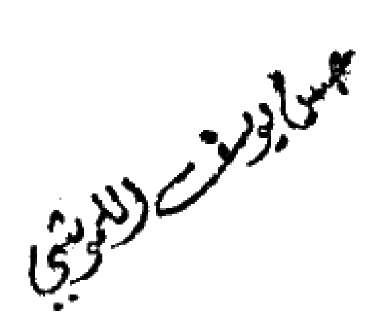
حامض الغلوتاميك

الشكل ٣/١٢ ـ عملية التمثيل الحيوي للغلوتامين

Glycerol 3-phosphate	— 9.2
3-Phosphoglycerate	—10.0
Glucose -phosphate	—13.8
Fructose 6-phosphate	—15.9
Glucose 1-phosphate	—20.9
ATP	—30.5
Acetyl phosphate	—30.5
Phosphocreatine	—43.1
1,3-Diphosphoglycerate	—49.4
Phosphoenolpyruvate	—61.9
	(KJ/mole) G	phosphate transfer Direction of

الجدول ١/١٣ ـ الطاقة السائبة الامام لعملية حلماة المركبات الفوسفاتية

لا يعود سبب استخدام المنظومات الحية للأتب كعامل لنقل المجموعة الفوسفاتية الى كونه المشتق الفوسفاتي ذو أعلى طاقة ممكنة ، وانما لأنه يأتي في مستوى وسيط بين المركبات الفوسفاتية . ولكي يتمكن الأتب من العمل كعامل لنقل الفوسفات يتوجب عليه أن يملك القدرة على تقبل مجموعات الفوسفات من بعض المركبات ويسلمها الى أخرى. وعليه فان المتعضيات تملك مجموعة من مركبات الفوسفات تؤلف مدرجا من الطاقة السائبة. وعندما يجري توليد الأتب في العمليات البيولوجية يتقبل الأتب بنفس الوقت فوسفاته من مشتق فوسفاتي أشد طاقة منه بذاته، وذلك لكي يكون التفاعل تلقائيا.



الفصل الرابع عشر ـ القوة الدافعة

ان المنظومة البيولوجية أكثر من تجميعة من المواد العضوية ، فهي آلية بوسعها أن تتناول الطاقة وتستخدمها لترقية الكيميائيات البسيطة الى ترتيبات أكثر تعقيدا . لذلك فان السر في نجاح اختلاق الحياة يتمثل بالاصل في التقاء والتئام المواد ما قبل الحياتية التي ملكت القدرة على التفاعل معا بتوافق لتسخير الطاقة المتوفرة في بيئتها . كانت جميع الطاقة ، والمستمدة أساسا من الشمس، متواجدة في شكلين اثنين. كانت متواجدة كطاقة كيميائية كامنة في بنية المواد العضوية الناتجة بفعل أشكال الطاقة المختلفة العاملة على الجو، وبشكل ضوء الشمس الذي كان يغمر سطح الارض في كل يوم. وفي النهاية أخذت المتعضيات تستخدم مصدري الطاقة كليهما.

من بين جميع العمليات البيولوجية التي عكف الكيميائيون على دراستها واستجلاء مكنونها قلما ظهرت عملية اكثر ادهاشا واعجابا أو كانت أكثر مقاومة ومراوغة للانفتاح والانكشاف من عملية التمثيل الضوئي. لقد امكن بالتخمير عزل جميع الانزيمات وغيرها من المكونات الداخلة في تجزئة الغلوكوز الى حامض البيروفيك، وتم اخراج كل خطوة مشفوعة بالمسلسلات الكاملة للتفاعلات ، في المختبر. أما بالنسبة الى عملية التمثيل الضوئي فقد كان الامر مختلفا. اذ، عند أخذ مستخرجات من خلايا النبات لغرض تجميع اليخضور وغيره من المكونات ، تفقد هذه المستخرجات قدرتها على القيام بعملية التمثيل الضوئي. وبرأي البيولوجيين، كان هذا بمثابة تحطيم ساعة ومعاينة قطعها للاطلاع على كيفية اشتغالها بدلا من مراقبة الآلة التامة برمتها.

لقد كرس قدر كبير من البحوث لدراسة عملية التمثيل الضوئي التي قد تحقق الآن تفهم الكثير منها. لما كان الضوء أحد اشكال الطاقة فقد قامت

النباتات ،بالنتيجة، بتنمية الوسائل البيوكيميائية اللازمة لالتفاف طاقة ضوء الشمس وتحويلها مباشرة الى طاقة كيميائية ، ونجحت في توجيهها لتمثيل ثلاثي فوسفات الادنوسين واختزال ثاني اوكسيد الكربون لانتاج الكربوهيدرات • ولاختزال ثاني أوكسيد الكربون الى مستوى اختزال السكر يتطلب ما مقداره +٤٦٨ كج/م من ثاني اوكسيد الكربون•

$$CO2 + 4H \longrightarrow CH2O + H2OD \triangle G = +468 \ KJ$$

يسير الضوء في موجات من الجسيمات تسمى بالفوتونات (photons) وبدلا من كون الطاقة متواصلة فانها تقع في عبوات أو رزم تسمى بالكمات quanta، مفردها كم: (quantum) وتتباين طاقة كل كم عكسيا مع طول الموجة الفوتونية (يرمز الى الموجة الفوتونية) هـذه بحرف (لا مبدا اليوناني)• ومعنى هذا هو أن الطاقة في الكم تتضاءل مع ازدياد طول الموجة ، نزولا من ما فوق البنفسجية الى المرئية الى ما دون الحمراء • في التعبير الرياضي لكم من الضوء يرمز الحرف الصغير(٧) الى التردد أو الذبذبة (frequency) ، والحرف الصغير h الى ثابت بلانك (planck's constant) ، والحرف الصغير (c) الى سرعة الضوء، والحرف الكبير (E) الى كم الضوء•

$$E = hv \quad = hc/\lambda \qquad E \propto 1/\lambda$$

يستطيع الضوء الاحمر بموجته البالغ طولها (٦٨ر٠) ميكرومتر انيذكي التمثيل الضوئي في النباتات الخضراء بكم ضوء يعادل (٩ر٢×١٠ ^-١٢^ ارغة=

= Erg• والأرغة هي وحدة الشغل في النظام السنتمتري الغرامي centimetre-gramme system ، وتمثل الشغل الذي تنجزه داينة (تعريب داين dyne) واحدة على مسافة سنتمتر واحد • أما الداينة فهي وحدةالقوة في نفس النظام، وهي القوة التي تحرك غراما واحداً لمسافة سنتمتر واحد بالثانية • ووزن الغرام الواحد يمثل قوة قدرها (٩٨٠) (داينة)• وعند تحويل طاقة قدرها (٩ر٢×١٠–١٢)الى وحدات من التفاعلات الكيميائية فانها تناهز ما يعادل (١٦٧كج/م)• وهذا يعني ان اختزال مولة واحدة من ثاني أوكسيد الكربون يتطلب على الاقل ثلاثة (٣) كمات من الضوء، انما تطبيقيا يبدو انها تستلزم حوالي عشرة (١٠)كم•

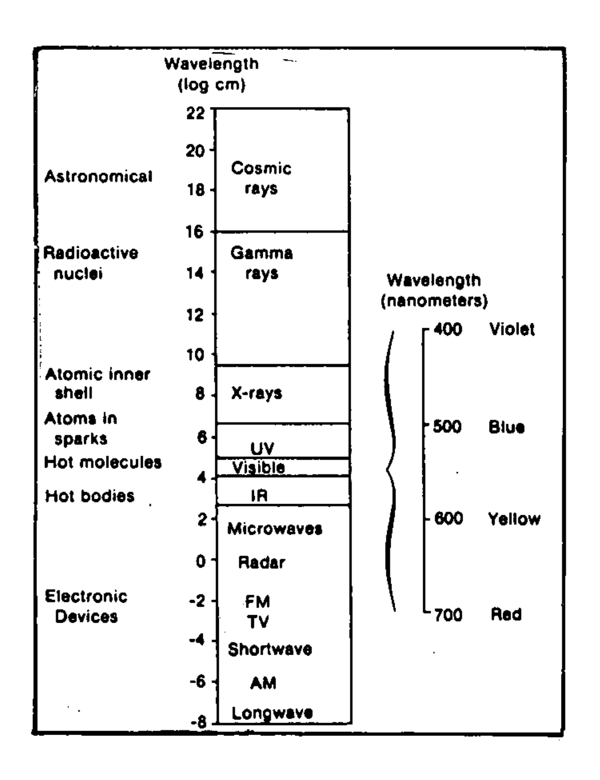
في العموم، تسخن الاشياء القاتمة والملونة عند امتصاصها للضوء، وذلك لقيامها بتحويل الطاقة الى حرارة• لكن، مثلما قد تمكنت المنظومات البيولوجية من استنباط الوسائل لاستمداد الطاقة من أكسدة المواد العضوية فانها قد نجحت ايضا في تصريف جزء من طاقة الضوء قبل ضياعها كحرارة•

ان الفوتونات القصيرة الموجة ، كما بالنسبة الى الضوء ما فوق البنفسجي، تكون عالية الطاقة ، ولذلك فهي مدمرة للعديد من المركبات العضوية بتحطيم أربطتها المشتركة • أما، من جهة أخرى، اذا كانت طويلة الموجة للغاية ، فستكون منخفضة الطاقة وتكون ذبذبتها واطئة للغاية فيتعذر امتصاصها• ان الطاقة المتمثلة بشكل الموج، كما في الضوء، تنتقل فقط الى الاشياء المهتزة بنفس ذبذبتها • والالكترونات، كجميع المادة في حالةالحركة، تنتقل في نمط موجي ذي ذبذبة معينة تعتمد على الكتلة والسرعة• ان ذبذبات أغلب الالكترونات الدائرة حول الذرات قصيرة للغاية ، بحدود الاشعة السينية، انما يمكن في الجزيئات ذوات الاربطة المتناوبة فردا وزوجا أنتكون الالكترونات المترددة على طول المسلسل طويلة الموجات• وهذه المركبات هي

مواد عضوية ملونة ، تمتص الضوء الازرق أو الاحمر أو الاصفر وتعكس اللون المتمم.

ليست مدارات الالكترونات ثابتة وانما تنقسم الى وحدات فرعيـة أو مسارات (مدار = orbit ، مسار = orbital) تمثل مدى من مستويات الطاقة ضمن المدار. وعليه، عندما تمتص الجزيئة كماً من الضوء تنتقل الطاقة الى الكترونة (electron)يتم رفعها الى مسار ذي مستوى أعلى من الطاقة . وفي هذه النقطة يقال لها بأنها في حالة اثارة او تهيج (excited state) . غير ان حالات التهيج هي تضاريس غير مستقرة ولا تلبث الالكترونة ان تعود الى المستوى الاوطأ، أو حالة الهمود (ground state) ، مستغنية عن الطاقة ببث الضوء (التلصف) (emission of light-fluorescence) أو بواسطة التصادمات (collisions) ،ومولدة الحرارة.

لتسخير الطاقة لانجاز شغل يجب الحيلولة دون تبددهـا كحرارة أو كضوء وصبها في شكل يمكن استخدامه ، وهذا بالنسبـة الى المنظومـات البيولوجية يعني تحويلها الى طاقة كيميائية . عند ضخ ما يكفي من الطاقة في الالكترونات يمكن في الغالب استحثاثها لترك مدار الجزيئة المتهيجـة والانتقال الى مادة متقبلة، وآنذاك يصبح هذا بالتفاعل الكيميائي التأكسدي الاختزالي يقوم عامل الاكسدة او المؤكسد (oxidant) فيه بتقبل الكترونات من مورد donor ويختزل به. وهذا هو المنبع أو الباعث الاصلي لعملية التمثيل الضوئي والطريقة التي يتم بها تحويل (conversion) ضـوء الشمس مباشرة الى طاقة كيميائية.



الشكل ١٤/١ ــ الطيف الكهرومغنطي

تحتوي النبــاتات على عدد من الصبغــات كالجزرينــات (carotenes) وشبه الجزرينات (carotenoids) (تعطي اللون الاصفر ــ البرتقالي الذي في الجزر) تقوم بامتصاص الضوء، ولو ان اليخاضير هي الجزيئات الرئيسةالتي تمتص الضوء في النباتات الخضراء • وعندما اليخضور كمّاً من ضوء الشمس تعود الطاقة في اليخضور المنشط الممتليء بها الى التبدد بسرعة من خــلال التلصف ان لم يتم نقل الالكترونة الى حالة أكثر استقرارا•

في عام ١٩٣٧ وقف روبرت هيل[١] (Robert Hill) من جامعة كمبرج على اكتشاف أفضى الى تشخيص عدد من حــاملات الالكترون (carriers) وظيفتها نقل الالكترونات من اليخضور المتهيج• وجد هيل أن عند وضع أو

تعليق الاوراق اليابسة او المسحوقة (powdered) في محلول من الماء واوكسالات الحديد الثلاثي التكافؤ (ferric oxalate) أو أية املاح أخرى للحديدالثلاثي التكافؤ، تبدأ بأطلاق الاوكسجين لفترة ساعة او اكثر، وهذا أطول بكثير من بدون املاح الحديد الثلاثي التكافؤ• ثم كشفت دراسات لاحقة انـه بالامكان استبدال املاح الحديد الثلاثي التكافؤ• بالكونيون أو صبغـات معينة• وفي جميع الحالات كان للمواد المضافة خاصية واحدة مشتركة ، وهي انها كانت مؤكسدات قوية•

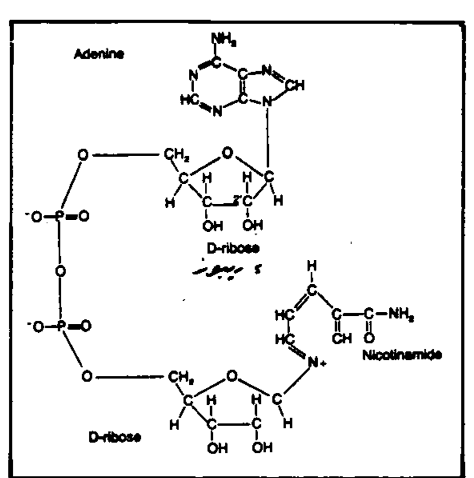
$$Fe^{+++} + e^{-} \rightarrow Fe^{++}$$

أطلقت هذه الملاحظة البحوث عن حاملات الكترون طبيعية الحصول في النباتات يمكن أن تكون لها صلة بعملية التمثيل الضوئي، وفي النهاية تم العثور على متقبلتين للالكترون كانتا من الانزيمات المساعدة واتتسبتا الى اللبنات البنائية لحوامض النوويك، وهما ثنائي نووتيد ادنين النيكوتيناميد NAD ناد) ومشتقه المفسفر .(Phosphorylated= — NADP NAD)

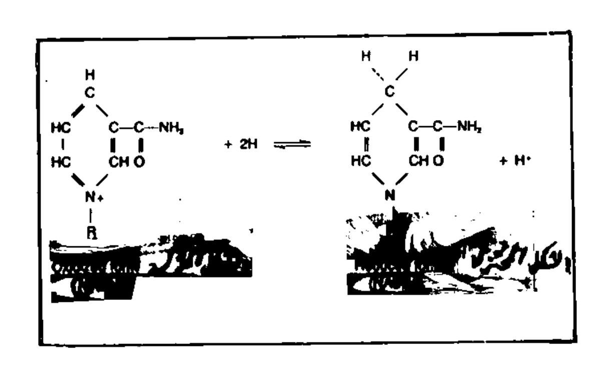
الشكل ٢/١٤ ــ بنية اليخضور أ• تتالف مجموعة الفايتل (phytyl) من سلسلة طويلة غير متفرعة •

ان شدفة النيكوتيناميد في الجزيئة هي التي يمكنها تقبل أو اخـذ واعطاء الالكترونات • ومثلما ان ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP) هو حامل للفوسفات، فكذلك ايضا ان ثنائي نووتيد النيكوتينـاميد (NAD) ومشتقـه المفسفر (NADP) هما حاملان للالكترونات• اما في الانسان والفقريات الاخرى فيتوجب توريد الجزء النيكوتيناميدي من المركب من خلال الغذاء بشكل نياسين (Niacin) وهو احد فيتامينات المجموعة ب (B vitamins) •

بالرغم من ان (NAD) و (NADP) متشابهان في التركيبة الكيميائية ، فان كلا منهما يلعب دورا مختلفا عن دور الآخر• يتقبل (NAD) الالكترونات الموجهة الى الاوكسجين في التنفس • بينما يقوم NADP بتوجيه الكتروناته لاختزال المركبات العضوية ، وعليه فان (NADP) اسرع في اختزال ثاني اوكسيد الكربون الى سكر•



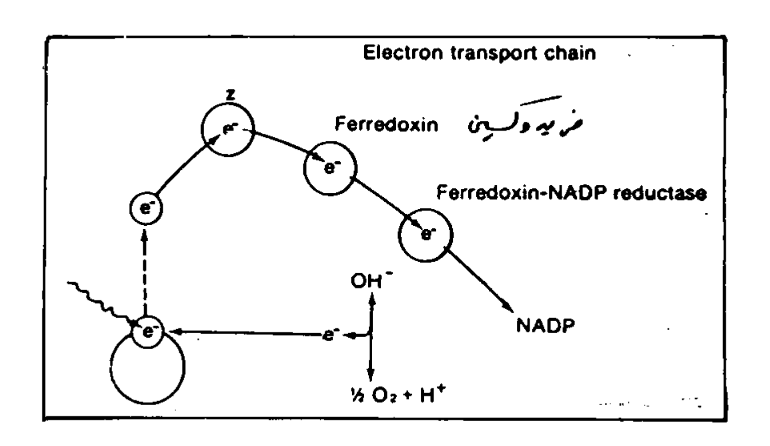
الشكل ٣/١٤ - ثنائي نووتيد ادنين النيكوتيناميد NAD • اما فوسفات ثنائي نووتيد ادنين النيكوتيناميـد NADP فيتضمن مجموعـة فوسفاتية ملحقة في ٢-هايدروكسيل الريبوز (2-hydroxyl of ribose) بجانب حلقة الادنين•



لا يتقبل NADP الالكترونات من اليخضور المنشط مباشرة ، وانما يتم نقل الالكترونة في مسلسل من مركبات اختصاصية ، وهنا في هذه النقطة يصبح الفريدوكسين ، وهو بروتين الحديد ــ الكبريتيد الذي ربما كانأول بروتين تستخدمه الخلايا الحية ، لأنه ذو أهمية ملحوظة• عندما تتنشط الكترونة في جزيئة اليخضور تقوم بترك هذا المركب وترحل الى جزيئةيخضور أخرى موسومة (P700) ،وتقوم (Z) ، وهي متقبلة الكترونات قوية ، بسحب الالكترونة المنشطة من (P700) • بعد ذلك تقوم(Z) بترحيل الالكترونة الى الفريدوكسين الذي يجري اختزال حديده من ثلاثي الى ثنائي التكافؤ (from Fe^{+++} to Fe^{++}) في العملية • ومن الفريدوكسين يجري ترحيل الالكترونة الى حاملة الكترون ، ريدكتاز ــ اوكسيد و NADP ــفريدوكسين الى NADPox حيث تتحول الى NAOPred

(ferredoxin-NADP oxido-reductase to NADPox,) NADPred converting it to NADP red.)

وفيما يتخلى الفريدوكسين عن الالكترونة يعود يجري اكسدة حديده الثنائي الى الثلاثي التكافؤ (from Fe^{++} back to Fe^{+++}) •وهكذا يحصل تدفق ضوئي الاستحثاث للالكترونات من اليخضور الى NADP الى أن يتم اختزال جميع الـ NADP •

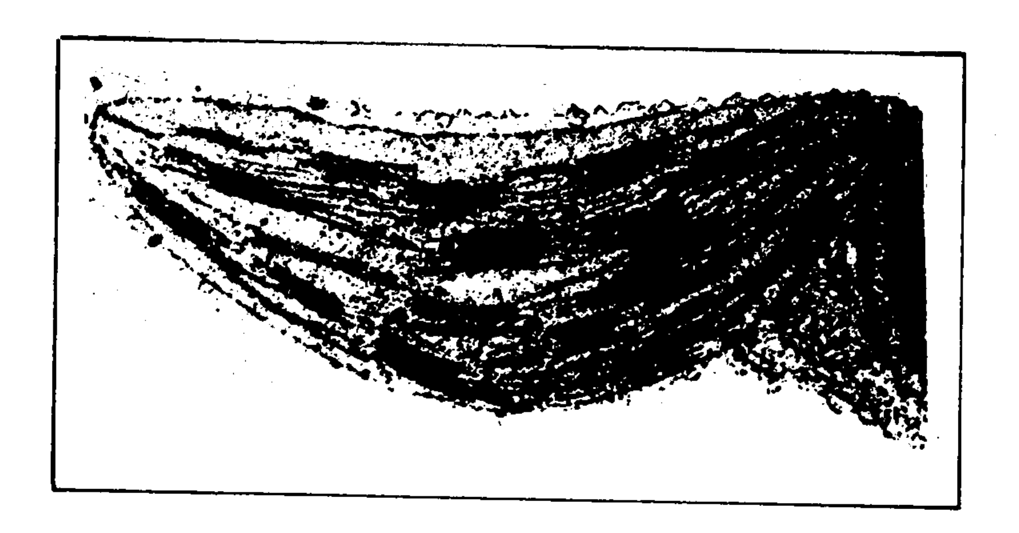


الشكل ٤/١٤ ـ تستخدم الالكترونات العاليـة الطـاقة من اليخضور المنشط (energised) لاختزال NADPox الى NADPred

وما أن يتم اختزال NAD الى NADP حتى تكتمـل الزردة (link) من امتصاص ضوء الشمس الى التمثيل الضوئي، وآنـذاك يتسنى لهذه الانزيمات المساعدة المختزلة أن تشارك في عمليات التحويل الكيميائي المختلفة بما فيها عمليات الكربكسجة (carboxylations) التي تتـوقف نووتيـدات البيريميدين المختزلة.

كان يفترض في العموم ان المتعضيات الضوء تمثيلية تستحصل جميـع الأتب ATP الذي تحتاجه من تجزئة الغلوكوز، مما ينم عن ان الغلكلة أو غيرها من عمليات التجربة المماثلة كانت قـد سبقت عملية التمثيل الحيوي للأتب في نشأة الحياة . انما في عام ١٩٥٤ اكتشف كل من دانيال ارنون (Daniel Arnon)، وميري بيل آلن (Mary Belle Allen) ، وفريدريك ويتلي(٢) (Frederick Whatley) ما سمي بعملية الفسفرة الضوئية (photophosphorylation) لاحظ هؤلاء ان الجبيلات اليخضورية ، بدون معونة من الجسيمات (particles) الخلوية الاخرى، تملك القدرة على تثبيت ثاني اوكسيد الكربون وعلى التحويل المباشر لطاقة الضوء الى أتب.

هذه هي العملية الابسط، وربما الاصلية ، لتسخير طاقة الشمس المشعة لانتاج الأتب • كانت عملية تكوين الأتب تتم في معزل تام عن أوسطة (ج وسط substrates المواد العضوية او الاوكسجين • وعندما جرى اضاءة الجبيلات اليخضورية المعزولة في حضور الأدب ADP والفوسفات اللاعضوي، تكون الأتب بوتيرة عالية ، وكلما طالت فترة اضاءة الجبيلات كلما تعاظم مقدار الأتب المتكون•



الشكل ١٤/٥ - جبيلة يخضور الطماطة منظورة من خلال مجهر الكتروني• الاقسام المحززة هي الحويصلات الرقائقية مع الاغشية التي تقوم حواجز العزل الجوهرية لعملية التمثيل الضوئي• الصورة مكبرة (٣٢٠٠٠) مرة•

لا تمس الحاجة الى مورد الكترونات خارجي في عملية الفسفرةالضوئية. ينشأ تولد الأتب من تدفق الالكترونات دائريا (cyclic) من اليخضور المتهيج الى الفريدوكسين، ثم من خلال آلية انزيمية ، ورجوعا مرة أخرى الى اليخضور بسلسلة من الحاملات ، ولكي تتم هذه العملية يقتضي فصل مورد الالكترون الاول او عزله عن متقبل الالكترون الاخير، والا فتختل دورة تدفق الالكترون. ينشأ هذا الفصل بفعل الحاجز العازل الموجود في الغشاء الدهني، وهذا هو سبب عدم حصول عملية التمثيل الضوئي في السوائل المعزولة ، على نقيض المستخرج للغلكلة اللاهوائية ، والتكاملية (أي عدم تجزئية: integrity) البنيوية ضرورة مطلقة لعملية الفسفرة الضوئية ، وكانت الحياة لتستحيل لولا الخواص الفريدة للغشاء الدهني.

تتمكن المتعضيات الضوء تمثيلية من توليد الأتب بالتقاف واستخدام طاقة ضوء الشمس مباشرة . ولا يستبعد ان كانت هذه الطريقة الابتدائية التي استخدمتها الخلايا البدائية لانتاج ما تحتاجه من الأتب. غير أن تجريد الغلوكوز ايضا يرجع الى أصل اولي وهي مثال البساطة . في عملية التمثيل الضوئي تقوم المتعضيات بتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كيميائية ببناء مركبات عضوية ذات مستوى أعلى للطاقة. وفي عملية الغلكلة تتناول المتعضيات الغلوكوز المتضمن لتلك الطاقة الكيميائية وتجريده الى مشتقات ذات طاقة أخفض، مستخدمة فارق الطاقة لانتاج الأتب ودفع خطوات التفاعل.

عندما وجد بوخنر في عام ١٨٩٧ أن بوسع المكونات الكيميائية من الخميرة تجزئة الغلوكوز الى ايثانول وثاني اوكسيد الكربون خارج بنية الخلية ، اكتشف الطريقة الاصلية للمنظومات البيولوجية لاستخراج الطاقة الكيميائية من المركبات العضوية . آنذاك ظن بوخنر ان التخمر كان تفاعلا

كيميائيا مفردا تحفزه انزيمة اسمها زيماز (Zymase) ، لكن عندما تم حـل آلية التحويل برمتها في الأخير، تبين ان تجزئة الغلوكوز تألفت من أحد عشر تفاعلا منفصلا، كل منها محفز بأنزيمة نوعية • وهذا هو مسلك ايمبدن — مايرهوف ،موسوما باسميّ البيوكيميائيين الالمانيين اللذين قاما بافتراض ورسم الخطوات الحرجة للمسلسل اثناء أواخر العشرينيات وأوائل الثلاثينيات من هذه القرن•

تخمر خميرة صـانع البيرة (Brewer) الغلوكوز الى ايشـانول وثـاني اوكسيد الكربون، لكن تقوم بكتيريا مختلفة بتوليد الاسيتون والبيوتانول وحامض الخليك والايثانول كمنتوجاتها النهائية للتخمر • غير ان التجزئة الرئيسة هي التجريد اللاهوائي للغلوكوز الى حامضي البيروفيك واللبنيك• تمثل هذه التجريد الابتدائي للغلوكوز الذي يتواجـد في جميع الكائنات الحية ، والموروث من اللاهوائيات البدائية التي كانت أول اشكال الحياة على الارض • وقد جرى تمديد سياق التفاعل اثناء النشوء والتطور من قبل متعضيات مختلفة للحصول على منتوجات متنوعة • في الحيوانات، تباقى المسلك اللاهوائي في تقلص العضل حيث يظهر حامضا البيروفيك واللبنيك بمثابة منتوجات نهائية اولية قبل ادخال الاوكسجين للمزيد من اكسدة ثاني اوكسيد الكربون والماء•

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{11 خطوة}} 2HO-\underset{CH_3}{\overset{COOH}{C}}-H \quad \Delta G = 197\ KJ$$

غلوكوز **حامض اللبنيك**

كما اكتشف بوخنر، تبدأ جميع عملية التخمر برمتها بمجرد جعل جميع المتفاعلات معا في السائل • وبما انه تبين ان المسلسل يتألف من تفـاعلات منفصلة مع امكان اقامة كل منها منفصلا في المختبر ، تأتي منتوجات كل خطوة

بمثابة المتفاعلات أو الوسط لانزيمة التفاعل اللاحق• وعليه، مع جميع المكونات متواجدة ، تتواصل عملية تجزئة الغلوكوز بلا انقطاع عبر كل خطوة حتى المنتوج الختامي•

لانجاز عملية الغلكلة تجري فسفرة الغلوكوز مع الأتب بحيث يتم اثناء التجزئة انتاج مشتقين اثنين بمستوى طاقة اعلى من الأتب• وبالتالي يتمكن هذان المشتقان العاليا الطاقة من توليد الأتب بترحيل مجموعة فوسفاتهما الى الأدب (ADP) • واجمالي النتيجة في عملية تجزئة الغلوكوز الى حامض اللبنيك هي ان جزيئتين من لأتب اللتين استخدمتا لفسفرة الغلوكوز تؤديان

الى تكون اربعة أتب من الأدب لحصيلة صافية من اثنين أتب• يجري اثناء العملية اختزال NADox (ناد مؤكسد) الى NADred (ناد مختزل)، انما يعاد توليده في النهاية عندما يقوم بتحويل حامض البيروفيك الى حامض اللبنيك• وتصبح المعادلة الاجمالية لمجموع التفاعلات:

غلوكوز Glucose+2 P_i +2ADP → 2 حامض لبنيك + 2ATP+2H2O

عندما تجري تجزئة الغلوكوز بخطوات لاستدرار الطاقة الكيميائية لانتاج الأتب، يوجد تفاعل كيميائي واحد يعمل بمثابة المفتاح الى نقل الطاقة • وهذا التفاعل هو اكسدة الغليسر الديهايد ٣ ـ فوسفات بواسطة NADox (glyceraldehyde 3-phosphate) مع الفسفرة المتزامنة لرفع الوسيط (intermediate) الى ١و٣ــ دايفوسفوغليسرات (1,3-diphosphoglycerate) وهو مشتق فوسفاتي ذو طاقة عالية طاقته أعلى من الأتب• في التفاعل الختامي للمسالك يعاد توليد NADox في عملية اختزال حامض البيروفيك الى حامض اللبنيك بواسطة NADred ، متمما بذلك دورة تفاعل الاكسدة ــ الاختزال، وكان عند هذه الخطو ة من الاكسدة بواسطة NADox ان تم

استرجاع بعض الطاقة المضمنة في الغلوكوز بفعل اختزال ثـاني اوكسيد الكربون في عملية الفسفرة ، وذلك بتفاعل عكسي للاكسدة •

ما هو اذن اساس عملية الاكسدة ـ الاختزال الذي يجعلها تلعب هذا الدور المركزي في الطاقويات الحيوية؟

ان الاوكسجين هـو العنصر الاكثر كهروسلبيـة (electronegative) في الوجود باستثناء الفلورين، اما الهيدروجين فهـو عنصر كهرومـوجب (electropositive) • وهذا التناقض الكهروكيميائي بين العنصر الاوكسجين والهيدروجين يجعل التفاعل بينهما من اشد التفـاعلات الكيميائية والرابط O-H من أقوى الاربطة • يصطحب التفاعل التأكسدي، المتسم عادة باضافة الاوكسجين، باختزال مزامن للاوكسجين ، بينما الهيدروجين هو العـامل المختزل في عملية تكوين الماء• وبعبارة أعم، ان العامل المختزل هو الشيء الذي تجري أكسدته • ولما كانت ذرة الهيدروجين تتألف من الكترونة واحدة وبروتونة واحدة (H^+) فان اضافة الكترونـة اليـه تؤدي الى الاختزال وازالتها منه تؤدي الى الاكسدة•

تستخدم النباتات طاقة الضوء الشمسي في عملية التمثيـل الضوئي لاختزال ثاني اوكسيد الكربون الى غلوكوز بشحنة قدرها (٢٨٨٠) كج/م من الغلوكوز، فيكون هذا خزين الطاقة الكيميائية الذي تستمد المتعضيات منه طاقتها لانتاج الأتب• يلزم لتحرير (٢٨٧٠)كج اكسدة الغلوكوز كليـا بالاوكسجين لاعادته الى ثاني اوكسيد الكربون والماء• لكن البروكاريوت الاركية كانت عاجزة عن القيام بمثل هذه العملية مع ضآلة أو انعدام الاوكسجين في بيئتها•

مع ذلك يمكن سحب بعض الطاقة لأن بأمكان الذرات أن توجد

في حالات مختلفة من الاكسدة بحسب تركيبة المركب. بالنسبة الى الكربون يؤلف ثاني اوكسيد الكربون (CO_2) الحالة التامة التأكسد والميثان (CH_4) الحالة التامة الاختزال. وجميع مركبات الكربون الاخرى تمثل مستويات وسيطة من الأكسدة. يؤدي تحويل مركب الى آخر مع قلة اختزال الكربون الى الأكسدة ويسفر هذا عن تحرير فارق الطاقة السائبة بين المركبين. وبناء على هذا عند تجزئة الغلوكوز الى حامض اللبنيك بواسطة المسلك اللاهوائي تؤدي الاكسدة الى تحرير (١٩٧)كج من مجموع (٢٨٧٠)كج في كل مولة من الغلوكوز، وفي اثناء العملية يتم انتاج جزيئتين من الأتب من واحدةالغلوكوز، تحتوي كل منها على طاقة قدرها (٣٠ر٥)كج. لذلك فان المسلك يلتقف ما مجموعه (٦١)كج من (١٩٧) كج من الطاقة ، ويستخدم الباقي وقدره (١٣٦ر٥) كج كالقوة الدافعة لتأمين اتمام التفاعلات . فمن مجموع (٢٨٧٠)كج في بنية الغلوكوز تمكنت المتعضيات اللاهوائية من استخراج أو استرداد (٦١)كج فقط أي ما يبلغ حوالي اثنين بالمائة (٢٪).

وفرت التجزئة اللاهوائية للغلوكوز الى حامض البيروفيك مصدرا ممكنا من الطاقة الكيميائية يعول عليه في انتاج الأتب، الا انه ثبت في الأخير ان مورد الكربوهيدرات اللاحيوية قابل للنضوب، فقامت المتعضيات بتنمية مسلسل من التفاعلات لعكس العملية وتمثيل الغلوكوز من حامض البيروفيك، توجد سبع خطوات قابلة للعكس في عملية الغلكلة ، اما الثلاث الأخرى فيتم تفاديها او تجاوزها في التحويلات الانزيمية التحفيز التي تصبح تلقائية في اتجاه عملية التمثيل بفعل شحنة من ستة اربطة فوسفاتية عالية الطاقة ، أربعة منها من الأتب واثنان من الج تب (guannosine triphosphate=GTP= ثلاثي فوسفات الغوانوسين.)

ومثلما استنبطت المنظومات البيولوجية الوسائل لاستعمال الأتب لاعادة بناءمخازينها من الغلوكوز، فأنها كذلك تستخدم ثاني اوكسيد الكربون

كمصدرها من الكربون لتمثيل الغلوكوزه كانت المتعضيات الاولية تملك القدرة على استمداد الأتب بعملية الفسفرة بتسخير طاقة ضوء الشمس واستعمال الأتب كعامل تنشيط (activator) وتمكنت من تجريد الغلوكوز وغيره من المركبات العضوية للاستقاء من طاقتها الكيميائية الكامنة . كان الغلوكوز خزينا من الطاقة الكيميائية وكان بالامكان اعادة بنائه من حامض البيروفيك بشحنة من الأتب. انما لمواصلة نموها دعت حاجة المنظومات البيولوجية الى الاستمداد من مورد للكربون والنتروجين عندما نضبت المركبات العضوية التي كانت متوفرة ، ووجدت في الواقع خزينا لا ينضب من العنصرين في الجو.

كان ثاني اوكسيد الكربون في الجو جاهز المنال ولكنه كيميائيا كان تام الاكسدة مما استلزم اختزاله جزئيا قبل امكان استيعابه كمادة عضوية. ولانجاز هذا استنبطت المتعضيات الضوء تمثيلية وسيلة لتثبيت ثاني اوكسيد الكربون باستخدام قدرة التمثيل الضوئي الاختزالية . استخدمت NADPred كعامل اختزال وأتب لتوريد القوة الدافعة ، وتمت تنمية مسلك من التفاعلات التلقائية لدمج ثاني اوكسيد الكربون بالمركبات العضوية:

$$6\ NADPred + 12H_2O + 12\ ATP + 6\ CO_2 \rightarrow$$
$$C_6H_{12}O_6 + 6NADPOX + 12ADP + 12\ P_i$$

بنفس الوقت تنتج القدرة الاختزالية للتمثيل الضوئي المستخدمة لتحويل ثاني اوكسيد الكربون الى غلوكوز قدرة كامنة مؤكسدة بالغة الشدة (عامل مؤكسد) تستخرج الهيدروجين من مورد خارجي، ولابد ان اشكال الحياة الأولى بآليتها للتمثيل الضوئي الاقل تطورا منها في الطحالب الخضرزرقاوية المحررة للاوكسجين كانت لتستخرج ما تحتاجه من الهيدروجين

من المصادر المتوفرة التي استلزمت أقل قدر من الطاقة لادرار محتوياتها من الهيدروجين • يجوز أن يكون المصدر الخارجي للالكترونات عضويا ولا عضويا• وعندما يكون المورد ايسوبروبانول هو المورد يجري فيما بعد أكسدته الى اسيتون ، وبنفس الطريقة يتحول السكسينات (succinate) الى فيومارات (fumarate) • والكبريتيد (sulfides) هي مورد الالكترون اللاعضوي الذي تستخدمه بعض البكتيريا•

وفي النهاية كان الماء المادة التي لم تستخدمها البكتيريا قط والتي اصبحت فيما بعد مصدر الالكترون للطحالب الخضرزرقاوية ولجميع الحياة النباتية•

$$2H2O \rightarrow 4H^{+} + O2 + 2e^{-}$$

ان استخراج الهيدروجين من الماء يتطلب عشرة أضعاف الطاقة المستخدمة في استخراجه من كبريتيد الهيدروجين، انما اما بسبب نضوب مورد المصادر الاولية او ربما نظرا الى محض غزارة الماء، نشأت متعضيات ضوء تمثيلية تملك القدرة على استخراج الهيدروجين من الاوكسجين في جزيئات الماء• وأصبح هذا حدثا خطيرا في نشأة الحياة على الارض لأنه أسفر عن تفريغ الاوكسجين كمنتوج جانبي في البيئة•

كان انطلاق الاوكسجين في الجو هو الذي أدى في الأخير الى تطوير الوسيلة الثالثة لانتاج الأتب• كانت جميع المنظومات البيونوجية تملك القدرة على تجريد الغلوكوز الى حامض البيروفيك بالمسلك اللاهوائي لاستخراج بعض الطاقة الكيميائية . لكن أغلب الطاقة بقيت في بنية حامض البيروفيك، واستنبطت بعض الخمائر والبكتيريا طرائقا لتحويل حامض البيروفيك الى مركبات عضوية أخرى• غير ان نسبة كبيرة منه اصبحت استيل الانزيمة المساعدة أ (acetyl coenzyme A) التي استخدمت لتمثيل الدهنيات والمكونات الأخرى• وطالما بقيت البيئة خالية من الاوكسجين لم

تتواجد الوسائل لاكسدة حامض البيروفيك اكثر من ذلك لاستخراج الخزين العظيم من الطاقة الذي كان ما يزال كامنا في أربطته الكيميائية.

ثم خلال الفترة بين ما قبل الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون وستمائة (٦٠٠) مليون سنة خلت استمر الاوكسجين المتحرر من الماء بواسطة المتعضيات الضوء تمثيلية في أكسدة نطاقي الارض المائي والجوي الى ان بدأت البيئة بمراكمة الاوكسجين الطليق او السائب . خلال فترة الالف ومائتي (١٢٠٠) مليون سنة المذكورة استنبطت بعض المتعضيات المجهرية انزيمات ومكونات أخرى اصبحت مسلسلا من التفاعلات للاكسدة الكلية لحامض البيروفيك، ولابد أن الجهاز الجيني استغرق زمنا طويلا للغاية عبر اجيال لا تحصى لاستنباط المسلك المتطور ، لكن الفائدة الانتقائية لكمية الطاقة المكتسبة كانت مذهلة.

نرى اليوم التجزئة الهوائية لحامض البيروفيك بحالتها الاكثر تطورا لكننا لا نعلم غير القليل عن المراحل المختلفة التي مرت من خلالها في عملية تطورها. في الاقل كانت بعض التفاعلات متواجدة مسبقا كتفاعلات جانبية للتخمر لتوفير الحوامض الامينية. وعلى ما يظهر تم تحوير وتمديد هذه بالمائة (١٪) من مستواه اليوم، فلربما انها كانت قد سبقتها فترة طويلة من التطور. لقد انحدر المسلك في النباتات والحيوانات من خلال الميتوكوندريا، وهي الجسيمات الخلوية الفرعية السجقية الشكل التي تقوم بإمداد الأتب في جميع الخلايا اليوكاريوتية.

لم يتم اكتشاف الكيمياء التفصيلية للتنفس حتى أواخر الثلاثينات من هذا القرن عندما قام هانز كريبس[٣] (Hans Krebs) بتنضيد مسلسل من التفاعلات الانزيمية تتضمن الحوامض الثلاثية الكاربوكسيليك (tricarboxylic acids) المستخدمة لاكسدة حامض البيروفيك الى ثاني

اوكسيد الكربون والماء• اثناء السياق تدخل استيل الانزيمة المساعدة أ من عملية نزع كربكسلة (decarboxylation) حامض البيروفيك المؤكسدة في ميتوكوندريونة حيث تقترن مجموعة الخلات بحامض الاوكسالوخليك (oxalo acetic acid) لتشكيل مركب حامض السيتريك السداسي الكربون • في التفاعلات السبعة التالية يتم تجريد حامض السيتريك (citric acid) واعادته الى حامض الاوكسالوخليك بطريقة تتم بها اكسدة وحدة استيتيل ثنائية الكربون الى جزيئتين من ثاني اوكسيد الكربون بالاوكسجين الجزيئي• في هذا المسلسل يجري على الدوام استهلاك واعادة توليد حوامض ثنائي وثلاثي الكربوكسيليك المتضمنة اربعا وخمسا وستا من ذرات الكربون (carbons) في العملية الدائرية • وبالنتيجة بوسع جزيئة مفردة من حامض الاوكسالوخليك انجاز اكسدة عدد لا حصر له من مجموعات الاستيتيل بفعل تكرار تولدها في نهاية كل دورة•

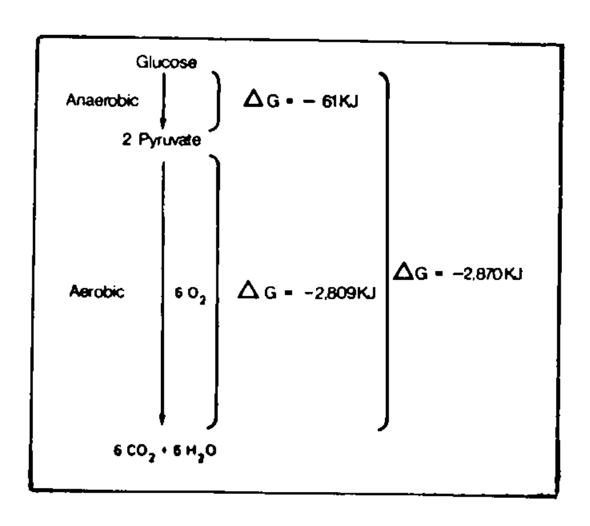
تمثل شبكية الغشاء (membrane complex) في الميتـــوكوندريا ، حيث يتم تجريد حامض البيروفيك. بنية من أكثر البنى واشدها تعقيدا التي استنبطتها المنظومات البيولوجيـــة ابداء ما تزال الآليـــات الجزيئيـــة لاستحـــالات (transformations) الطاقة التنفسية (respiratory energy) غـــير مســـتوضحـــة بتمامها، انما يظهر ان الميتوكوندريا تملك القدرة على اللجوء اليها لتمثيـــل الأتب، والقيام بعملية الهدرجة الاجتيازية أو الخلاليـــة (transhydrogenation) هدرجة الايسومرات في الجانب الآخر)، ونقل الايونات ، وغير ذلك مـــن العمليات الجوهرية بطريقة بالغة التنسيق. انما ما هو معروف هو ان البنية والوظيفة (structure and function) متشابكتان على نحو مستغلق تقوم فيها شبيكات الانزيمات بأكسدة حامض البيروفيك والحوامض الدهنية بباطن الغشاء الميتوكوندري.

لابد ان الفائدة الانتقائية المتوخاة كانت عظيمة ليتسنى نشوء شيء بالغ في التعقيد للغاية مثل الميتوكوندريونة ، من السهل رؤية ما الذي كسبتـــه الميتوكوندريا عند فحص عودة الطاقة في التنفس . جميع المتعضيات تتضمن المسلك اللاهوائي للغلكلة ، موروثا من اسلافنا البروكاريوتيين المشتركين، انما اليوكاريوت بميتوكوندرياتها مددت تجزئة الغلوكوز بأكسدة حـــامض البيروفيك كليا الى ثاني اوكسيد الكربون والماء.

طالما كانت المنظومات البيولوجيـــة مقتصرة على التجزئـــة اللاهوائيـــة للغلوكوز ظلت تستمد فقط جزيئتين من الأتب لكل جزيئة من الغلوكوز، وكان هذا حصيلة من الطاقة تبلغ فقط (٦١) كج من مجموع الكمية الكامنـــة البالغة (٢٨٧٠) كج المحتبسة في البنية الكيميائية . وقد اتاح تغير جوالارض الى حالة متأكسدة ذات الاوكسجين الطليق تجريد الغلوكوز في التنفس لغرض الاغتراف من الخزين الكامن غير المستطرق. وعند كتابة المعادلة الشـــاملة

لاكسدة الغلوكوز التامة الى ثاني اوكسيد الكربون والماء من قبل المتعضيات الهوائية تصبح هذه كالآتي:

غلوكوز $+36\ P1+36\ ADP+6O2 \rightarrow 6CO2+42\ H2O+36\ ATP.$



الشكل ٧/١٤ ـ مقابلة بين حصيلتي الطاقة من التجريد اللاهوائي للفلوكوز الى حامض البيروفيك ازاء اكسدة البيروفات pyrovate الى ثاني اوكسيد الكربون والماء .

بقيت الحياة على المستوى المجهري لما يناهز ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون سنة، لكن الميتوكوندريا ، أو لربما اسلافها المباشرة التي قامت باستنباط المسلك الانزيمي لاكسدة الغلوكوز بالتمام ، كانت تعمل ببطء على تنمية الاندلاعة الانتشارية . ربما استغرقت تنمية الآلية مئات الملايين من السنين،

لكن ثوابها كان هائلا ، فقد تمكنت المتعضيات القادرة على الفسفرةالتأكسدية الآن من الحصول على ست وثلاثين (٣٦) جزيئة من الأتب بدلا من الاثنتين لكل غلوكوز اللتين كانت تستحصلهما من عملية التخمر ، وكانت هذهالزيادة الثمانية عشر (١٨) ضعفا في الطاقة هي التي فجرت انطلاقة الحياة الكبرى من سجنها الخلوي الميكروبي الى تعددية الخلوية وبعد جديد بكليته.

الفصل الخامس عشر ـ مسألة التكوين

ان جميع المتعضيات على وجه الارض، اعتبارا من ابسط خليــة مفردة وصعودا حتى الانسان بذاته، ما هي الا مكائن خارقة القدرات تقوم بلا جهد ولا عناء بتحويل جزيئات عضوية معقدة ، وفرز انماط سلوكيــة في غــاية الدقة والاتقان ، منتجة ، من المواد الخام الموجودة في البيئة، نسخا بلا عــد ولا حصر مطابقة لذاتها في كثير أو قليل • تتألف العمليات الحياتية من خطوات متداخلة في تشابك مستغلق ومسيرة بضبط بالغ المهارة تتم في باطن الخلية العجيب البنية والتركيب، مع مناطق تخصصية يتم فيها انجاز تفاعلات كيميائية معينة • تشير التقديرات الى أن الخلية البشرية الواحدة تضم مائة (١٠٠) ألف جزيئة انزيمية تنجز ما بين الف (١٠٠٠) والفي (٢٠٠٠) تفاعل كيميائي، أي بمعدل خمسين الى مائة (٥٠ـ١٠٠) جزيئة لكل عملية• ويتضمن الجسم البشري عشرة تريليون (٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ١٠) خلية تقوم كل منها بدور خاص في المتعضية الكلية•

كما ان قدرة الانزيمة على تنفيق التفاعلات البيوكيميائية لا تقل بهرا واعجابا بل قل اعجازا • تتراوح وتيرة التحفيز لدى أغلب الانزيمات ما بين الف الى أكثر من خمسمائة الف (١٠٠٠ـ٠٠٠ ٥٠٠) جزيئة بالدقيقة الواحدة• انما يبدو أن الــوتيرة الأسرع لوحظــت لدى الانزيمة كاتالاز (catalase) فبوسع جزيئة واحدة من الكاتالاز تحويل أكثر من خمسة ملايين (٠٠٠ ٥٠٠٠) جزيئة من البروكسايد بالدقيقة الواحدة!

لا غرو اذن أن تنظر الناس الى الحياة كظاهرة يمكن تفسيرهــا فقط بمنطوق الشرائع اللامادية • لكن، كما بالنسبــة الى جميع الظواهر، بدت الخلية الحية مستغلقة الفهم محيرة فقط لأنه لم يكن قد توفرت بعد ما يكفي

من المعلومات حول العمليات البيوكيميائية لتنضيد سياق منطقي للاحداث الجارية في وظيفتها.

وقد بدا في زمن ما، نظرا الى أن الحياة خلقت النظام من اللانظام، بأنها أعجزت القانون الثاني للديناموحركيات أو علم الثرمودیناميكا (thermodynamics) ، والذي ينص على استحالة وقوع عمليات من شأنها أن تؤدي الى زيادة النظام. لكن هذه النظرة اخفقت في الاخذ في الحساب أن القانون الثاني المذكور ينطبق فقط على المنظومات المغلقة . ان الكون ككل ، مع انعدام تبادل المادة والطاقة من الخارج، متوجه ببطء الى حالة من العشوائية التامة . بينما المنظومات الحية ، من جهة أخرى، مفتوحة وليست مغلقة . ان ما يدفع عجلة الحياة هو ضوء الشمس المتدفق الينا من خارج بيئتنا .

كانت قدرات التمثيل الباهرة لدى الانزيمات مذهلة ومربكة لمجرد أن تكنولوجيتنا في العموم لم تكن بعد بلغت مستوى كفاءة العمليات الحياتية. أن القوان الفيزيائية والكيميائية مستمدة ومبنية على الاحتمالية الاحصائية لسلوك الجزيئات باسلوب محدد . تحتسب حركيات التفاعل الكيميائي على النسبة المئوية للجزيئات التي تملك طاقة كافية وتتنقل طليقة في خليط تفاعلي يصطدم بجزيئة أخرى ملائمة . ان محتوى الطاقة لدى الجزيئات في قطين (population) منها يتبع منحنى توزيعيا (distribution curve) ، والجزيئات التي من شأنها تشكيل ناتج هي فقط تلك التي تضم قدرا من الطاقة يفوق مستوى معيناً . لكن المنظومات البيولوجية قد استنبطت آلية تختلف كل الاختلاف عن آلية الاحتمالية في علمي الكيمياء والفيزياء، وتملك الانزيمات مواقع نشيطة حيث يقع المورد والمتقبل للتبادل الكيميائي في نفس الجزيئة وفي مواضع حيزية تجعل وقوع التفاعل محتوما تقريبا عندما تلتئم الطبقة التحتية او السفلية (substrate) وذلك تجنبا لالتباس كلمة «الاساس» بـ

bases و foundation بالانزيمة• وبهذه الطريقة تكون كفاءة التفاعل على اقصاها بدلا من الطريقة العاجزة حيث تتناقل جزيئتا المورد والمتقبل مستقلتين عن بعضهما في السائل•

بهذه الطريقة تتمكن الخلية الحية من انجاز مسلسلات من التفاعلات باقتدار مذهل• توجد في مناطق من الخلية جزيئة مفردة أو مجموعة صغيرة انما فائقة الانتظام من الجزيئات موجهة بحيث يمكن انجاز التحويل الكيميائي في سلسلة من التفاعلات مع كون احتمالية اتمام كل تفاعل منها جوهريا مائة بالمائة (١٠٠٪)• ان السلوك الجماعي لجزيئات منظمة على هذا النحو، ما عدا في المادة الحية، لم يسبق له مثيل في العلوم حتى ظهور الفيزياء المجسمة مؤخرا•

لقد كشف ايضاح فعل التمثيل الضوئي، والتآيض، وآليات الانزيمة، وتمثيل البروتينات ، وتناسخ وترجمة الحوامض النوويك ، بأن هذه العمليات جميعا تتبع قوانين كيميائية وفيزيائية ثابتة مقررة • لا يوجد ثمة أثر لأية قوة حيوية، ولا تمس الحاجة الى الاستعانة بهذه الفكرة لتفهم آليات الحياة• ولم تكن النظرية الحيوية قط مبدءا ابتكر كيفما اتفق بل كانت نوعا من الرأي الشامل لتغطية كل ما يتعذر فهمه خلاف ذلك•

كما ان تعقدية الحياة ايضا باهرة ومذهلة • لقد قام البيولوجيون باحصاء وتصنيف ما يناهز مليون نوع من الحيوان ونصف مليون نوع من النبات، ويقدر عدد الانواع الحية التي لم يجر تصنيفها بما ينوف على عشرة ملايين نوع• ثم ان عدد الانواع المنقرضة والمتمثلة في الاحافير ربما يربو على كل هذا• لقد تنوعت الحياة الى حد رهيب، وامتدت في الحقيقة الى كل بقعة بيئوية ملائمة من اطيان واوحال النزز البحرية المتنضبة الاوكسجين والتربات الغنية بالامونيا الى الرواسب الفلزية ذات المحتوى الاشعاعي

العالي. توجد متعضيات مجهرية تعيش في برك متنزه يلوستون الوطني في درجات حرارة لا تقل عن ثمانين درجة (٨٠°) مئوية، وتوجد نباتات مجهرية في بركة دون خوان في القارة القطبية الجنوبيـــة تتأيض في ميـــاه كلوريد الكلسيوم في درجات حرارة منخفضة تبلغ ثلاثا وعشرين درجـــة (٢٣ـــ°) مئوية تحت الصفر، كما توجد بكتيريا وطحالب وفطريات يمكنها أن تعيش في بيئات شديدة الحموضة أو القلوية ؛ ولشدة غيظ الفيزيائيين تواصل البكتيرة سيودوموناس راديـــو يورنس (Pseudomonas = radiodurans) الكاذبـــة الضخامة المقاومة للاشعاع) ازدهارها في مجرى النيوترون (neutron flux) عند بواطن المفاعلات الذرية لاحواض السباحة.

نحن ننزع الى الاندهاش من هذا التنويع الرهيب للحياة على الارض، انما تحت هذا التنويع المتضارب الخارجي توجد اشتراكيـــة عظمى. فقـــد أماطت التقدمات المحرزة في البيوكيمياء اللثـــام عن ان جميع المنظومـــات البيولوجية تستخدم في الاساس نفس العمليات لاداء وظائفها كمتعضيات ذاتية الادامة . تشتمل حوامض النوويك والبروتينات على أهمية مركزيـــة مطلقة لجميع العمليات الحياتية ، والوحدات الفرعية لهذه البيوبوليمرات هي نفسها لجميع المتعضيات، وحتى الكيمياء المجسمة ، أي يمينـــة أو يســـارية الجزيئات البيولوجية ، هي نفسها في الكافة . كما يوجد ايضا صنف رئيس من المركبات تستخدمها جميع اشكال الحياة لنقل الطاقة الكيميائية ، وهذه العوامل هي فوسفات النووتيد (nucleotide phosphates) . أما البورفيرين، وهي المركبات الدائرية التي تشكل النواة النشيطة للهيموغلوبين، والكلوروفيل، والسيتوكرومات ، فهي مقومات متواجدة في كل شيء. لكن ما هو أعجب من كل هذه بأجمعها هو التشابه في ترجمة معلومات حامض النوويك الى بنية البروتين. وقد تبين، منذ أن تم فك رموز المدونة الجينية في السنوات الستينية

من هذا القرن العشرين، ان لغة الوراثة هي نفسها لجميع الكائنات الحية .
كل هذه المشتركات والعديد غيرها، ولاسيما حيث لا تتواجد أية فائدة انتقائية بارزة ، تشير بقوة الى أن جميع أشكال الحياة على الارض هي سلالة جد سلف واحد مشترك.

لقد أصبحت الحياة ، منذ نشأتها من سلف سابق مجهري بدائي، معقدة على نحو رهيب. لقد وجد ان وزن الدنأ في الثدييات يبلغ (٥ر٦×١٠^-١٢) غرام. فاذا كان زوج من النووتيد يزن(٠٣ر١×١٠^-١٢) غرام فان مقدار الدنأ في كل خلية ثديية يبلغ ما يعادل ثلاثة آلاف ومائتي (٣٢٠٠) مليون زوج من النووتيد . وباعتبار ان معدل طول البروتين يبلغ خمسمائة (٥٠٠) حامض اميني، وهو يعادل جينة ذات الف وخمسمائة (١٥٠٠) زوج من النووتيد، فان كل مخلوق ثديي يملك مليونين ومائة الف (٠٠٠ ٢١٠٠) جينة[١].وقد اقترح آرجيه بريتن (R.J. Britten) ودي اي كوهنه[٢] (D.E. Kohne) ان اربعين بالمائة (٤٠٪) من الدنأ يتألف من سياقات تتكرر ما بين عشرة آلاف الى مليون (١٠٠٠٠ــ٠٠٠ ١٠٠٠) مرة . وهذه امتدادات طويلة من الدنأ التي لا تدون لسياق من الحوامض الامينية أو جزيئات الرنأ وانما تعمل على فصل الشدف المعلوماتية في الجزيئة . وبعد طرح هذه التكرارات، يظل يبقى لدينا مجال لما يبلغ مليون ومائتين وخمسين الف (٠٠٠ ١٢٥٠) جينة مختلفة في صبغوسومات كل نوع من انواع الثدييات. فبأية طريقة امكن نشوء مثل هذه التعقدية في عملية تحت التحكم والسيطرة خلال ثلاثة آلاف وخمسمائة (٣٥٠٠) مليون سنة؟

تواتر تعقيد متواز بعد تطور المنظومات المتعددة الخلايا ، عندما تطورت المتعضيات الاحادية الخلية الى متعددة الخلايا ، تمكنت الخلية الواحدة من اطلاق اعداد فلكية من النسخ. ان الخلايا التي تشكل جسم الانسان مشتقة

من بويضة مفردة انقسمت الى ٢ ثم ٤ ثم ٨ ثم ١٦ وهكذا دواليك بالمتوالية الهندسية (geometric progression) لتكـون الشخص الكامل. ومهمـا يبدو لا معقولا فان الخلية المفردة الواحدة تحتاج الى احدى واربعين (٤١) انقسامة لتصبح عشرة تريليون (٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ١٠ . وهـذا هو التريليون الامريكي ويساوي بليون بالحسـاب الانكليزي الالماني حيث التريليـون يتألف من واحد تتبعه ثمانية عشر صفرا).

والمتوالية الهندسية وسيلة فعالة للغاية لبلوغ الارقام الهائلة الضخمة ، وقد اكتشف النشوئيون الجزيئيون ان الآلية الرئيسة في النشأة هي تضاعف الجينات من خلال التحول الفجائي او التبدل الطفرة . ومع كل تضاعف يمكن لاستبدال واحد من الحوامض الامينية في نسخة واحدة ان يضيف بروتينا جديدا. وبهذه الطريقة نشأت اعداد من البروتينات مختلفة في الوظيفـة كالزلال اللبني من الحليب (lactalbumen) وانزيمة الليسوزيم (lysozyme) من نفس الجينة. كان تضاعف المادة الجينية ليكون حادثة نادرة . مع ذلك، ان تضاعف جينة مفردة الى مليون وستمائة الف (٠٠٠ ١٦٠٠) بالمتواليـة الهندسية كان لا يتطلب أكثر من (٢١) تضاعفا متواليا منذ بداية الحياة على الارض، أو على فترات معدل طولها مائة وثمانية وثمـانون (١٨٨) مليون سنة.

لم يكن مسار التعقدية مستقيما سويا تماما كالمتوالية الهندسية لجينة مفردة. فقد تدخلت اعتبارات أخرى في التبدل الطفرة والنشأة، ويفترض ان الخلية الاولية تألفت من حشد من المواد البوليمرية الصغيرة وليس من جينة مفردة واحدة . كما ان تدرج السلم الزمني ليس مؤكدا لأن الجينات لم تتطور الى الحجم الاكبر وانما الى الحجم الامثل للانزيمات . ان تناسخ جينومة كبيرة (مجموعة الجينات المؤتلفة) كان سيعني تناسخا واسعا متماديا

للمادة الخلوية بنسخ متعددة من البروتينات المماثلة مدخلة أحوالا كان من شأنها أن تكون أكثر فائدة للحياة الاولية مما لاشكالها اللاحقة • مع ذلك، أن تضاعف الجينات مع التراكم اللاحق لنقطة التبــدلات الطفرة كان على ما يظهر الوسيلة الأشد فعالية وتأثيرا في بلوغ الحجم والتنوع، ويقينا قــد اشتملت بعض التناسخات العتيقة الجنومة ترمتها•

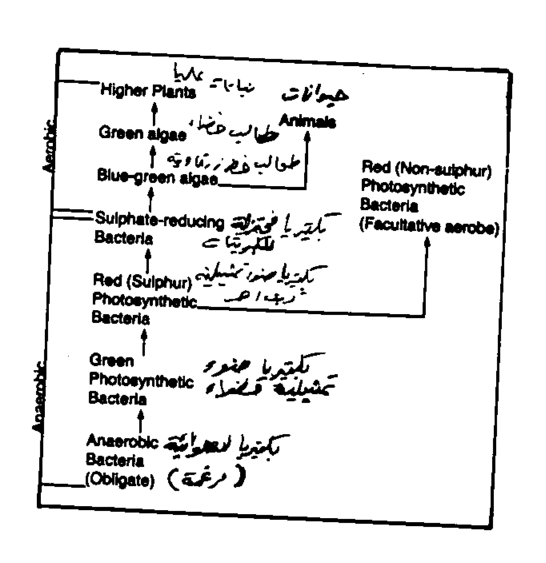
Table 15.1. Hypothetical doubling of a gene at 188-million-year intervals.

N²	Time (millions of years)	Number of genes
21	0	2,097,152
20	188	1,048,576
19	376	524,288
18	564	262,144
17	752	131,072
16	940	65,536
15	1,128	37,768
14	1,316	16,348
13	1,504	8,192
12	1,692	4,096
11	1,880	2,048
10	2,068	1,024
9	2,256	512
8	2,444	256
7	2,632	128
6	2,820	64
5	3,008	32
4	3,196	16
3	3,384	8
2	3,572	4
1	3,760	2
		1

الجدول ١/١٥ - التضاعف الافتراضي لجينة على فترات ١٨٨ مليون سنة.

وعند مقايسة الدنأ في كل فرد من تنويعة كبيرة من الثدييات تبين انه من نفس المقدار تقريبا. وبناء على ما تبديه سلاسل البيتا والديلتا (beta, delta) للهيموغلوبين ، فقد حصل التناسخ ضمن السلالات الثديية في بعض السدف الصغيرة من الصبغوسومات ، انما لم يحصل تناسخ لاجمالي الدنأ برمته. ورغم ان الثدييات ربما تملك نفس القدر من الدنأ كصنف، ألا انها تملك زهاء اربعة اضعاف القدر الموجود في الحبليات الاولية (protochordates) وبعض الاسماك. يظهر انه حصل تناسخ الجنومة برمتها مرتين في اثناء النشأة من الحبليات الأولية الى الثدييات. حصل التناسخ الاول في زمن ما قبل حوالي اربعمائة وخمسة وستين (٤٦٥) مليون سنة مضت، عندما تطورت الفقريات الأولى من الحبليات البدائية أما تناسخ الجنومة للمرة الثانية فقد حصل اثناء نشأة الزواحف الاولى أو في ما قبل الزواحف حوالي ما قبل ثلاثمائة وعشرين (٣٢٠) مليون سنة خلت.

توضح قضية الفريدوكسين بجلاء الطريقة التي نشأت بها الانزيمة من بنية اكثر بساطة. ان الفريدوكسينات بروتينات لاهيمية (nonheme) تتضمن الحديد وجدت في البكتيريا والطحالب الخضرزرقاوية والخضراء اللاهوائية والضوء تمثيلية، وايضا في النباتات الاعلى. وهي تشارك بمثابة حاملات الالكترون في تنويعة واسعة من العمليات البيوكيميائية بما فيها عمليات التمثيل الضوئي وتثبيت النيتروجين واختزال الكبريتات والتفاعلات الهيدروجينازية ، وتفاعلات أخرى مؤكسدة اختزالية.



الشكل ١٥/١ ـ النشوء التطوري للفريدوكسينات

Figure 15.1. Evolutionary development of ferredoxins.

تبلغ سلاسل البولي هضميتيد في فيريدوكسينات النبات باحتوائها على خمس وخمسين (٥٥) فضلة من الحوامض الامينية تقريبا ضعف طول تلك الموجودة في البكتيريا اللاهوائية ، بينما يأتي فريدوكسين الكروماتيوم ، وهي بكتيرة ضوء تمثيلية ، وتوسطا بين الطرفين• ثم ان صلة النسابة واضحة تماما نصفي الفريدوكسينات البكتيرية • يبدو ان جميع الفريدوكسينات مشتقة من التناسخ المتكرر للسياق البدائي لأربعة حوامض أمينية ، بما فيها

من الحذوفات واستبدالات الحوامض الامينية • حصل تضاعف في طــول الجينة في الســلالة البكتيرية التي نشأت مباشرة قبل تشعب الكروماتيــوم، ثم تضاعف آخر مستقل عن التضاعف البكتيري الذي أفضى الى فريدوكسين النبات[٣]•

Table 15.2. Composition of *Dialister pneumosintes*.

	(Grams $\times 10^{-14}$)	(Daltons $\times 10^{8}$)	Percent
Dry Weight	2.80	160	
DNA	0.13	7.8	4.66
RNA	0.30	18	10.33
Protein	1.20	72	43.00
Carbohydrate	0.47	28	16.45
Lipid	0.16	37	21.70

Note: A weight of 0.13×10^{4} grams of DNA is equivalent to 6.5×10^{8} daltons (one dalton is the molecular weight of one, or 1 gram is approximately 6×10^{23} daltons).

Table 15.2. Composition of Dialister pneumosintes.

	(Grams $\times$ 10^{-14})	(Daltons $\times$ 10^{8})	Percent
Dry Weight	2.80	160	
DNA	0.13	7.8	4.66
RNA	0.30	18	10.33
Protein	1.20	72	43.00
Carbohydrate	0.47	28	16.45
Lipid	0.16	37	21.70

Note: A weight of 0.13×10^{4} grams of DNA is equivalent to 6.5×10^{8} daltons (one dalton is the molecular weight of one or 1 gram is approximately 6×10^{23} daltons)..

الجدول ١٥/٢ ـ تركيبة الديالستر نيوموسنتيس

نشأت الحياة وتطورت من البسيط الى المعقد مستحثة الى ذلك بالتميز التنافسي للمتعضية الاكثر اقتدارا أو الطريقة البيوكيميائية الاكثر فعالية التي ظهرت من خلال التبدل الطفري. وهذا بالذات هو ما يغرينا ويدفعنا الى البحث عن المتعضيات الاكثر بساطة كنماذج للحياة الاولية . وفي هذا الاسلوب فائدة قيمة لأنه يوجد حيا اليوم ما يمثل العديد من مراحل النشوء طوال مسيرة الحياة قاطبة . غير انه يتوجب اتباع هذا الاسلوب بحذر لأن جميع الحياة المعاصرة لها سلالة أسلاف متساوية في الطول. ورغم ان المتعضيات المجهرية الاشكال الابسط للحياة فانها ليست الاشكال البدائية للحياة ،والبنى الانزيمية والعمليات التآيضية التي تشاركها البكتيريا معنا ليست أقل قدرة وتعقدية من التي لدينا بالذات . ونحن نختلف لأن كلا منا قد تطور لاستغلال جانب مخالف من البيئة التعايشية.

ورغم ان المقومات البوليمرية ربما تكون متساوية في تطورها، فانرزيازة

(architecture) البروكاريوت ابسط بقدر كبير منها في الخلايا اليوكاريوتية ، كما توجد سمات أخرى تقدم المبررات الكافية للاعتقاد بأن البروكاريوت جاءت قبل اليوكاريوت . ولوضع الامور في المنظور ينبغي علينا أن نتفحص التركيبة للبروكاريوت . ان البكتيرة دياليستر نيوموسنتيس (dialister pneumosintes) ، على سبيل المثال ، تملك القياسات ٤ر٠ـ٦ر٠ ميكرومتر عرضا و ٥ر٠ـ٠ر١ ميكرومتر طولا . ولما كان الميكرومتر يساوي ١/١٠٠٠ من المليمتر ، فان هذه البكتيرة تبلغ من الصغر ما يمكن معه وضع مائتين وخمسين (٢٥٠) الفا منها في النقطة الواقعة في آخر هذه الجملة . مع ذلك، فان أمر مقايسة تركيبتها الكيميائية واحتساب بنيتها القوامية من السهولة بمكان.

يمكن استنتاج الكثير من تركيبة المتعضية . بما انه يجب أن يتضمن الدنأ المزدوج الوهن تقريبا عشرين (٢٠) ضعف وزن البروتين الذي يقوم بتزويده بالمعلومات، فان (٦ر٥×١٠^٨) وحدة كتلة ذرية من الدنأ ستحمل المعلومات لامداد (٣ر٣×١٠^٧) وحدة كتلة من ذرية البروتين ، وباعتبار أن معدل الوزن الجزيئي للبروتين يبلغ (٤٠٠٠٠) (أربعين الفا) اذن لابد انه يوجد (٨٠٠) جزيئة من البروتينات المختلفة في الخلية الواحدة للبكتيرة ديالسترة فاذا كانت جميع البروتينات هي انزيمات، اذن لجزيئة مفردة بالتفاعل الواحد، تستخدم الخلية ثمانمائة (٨٠٠) تفاعل لكي تكون منظومة وظيفية ذاتية الكيان . وعليه، فلربما ان البكتيرة تستخدم عدة مئات من التفاعلات . وهذا يبدو رقماً معقولاً، لأن البكتيرة الاكبر ايشريشياكولي (E. Coli) ، وهي المتعضية المجهرية المدروسة على اوسع نطاق، قد كشفت لحد الآن عن خمسمائة (٥٠٠) تفاعل بيوكيميائي تم التعرف عليها(٤).

وبالرغم من صغرها الضارب ، فانها ليست الخلايا الذاتية الكيان

الاصغر، ان أصغر الخلايا الطليقة العيش المعروفة هي المتعضيات الشبيهة بالبلورونيومونيـا (PPLO=pleuropenumonia) المسمـاة بالميكـوبـلازمـا (mycoplasma) • هذه المتعضيات تسبب امراضا خطيرة في الاغنام والماعز والدجاج والدجاج الهندي وتتواجد كنباتات رميمة او رمامات غير مؤذيـة (saprophytes) في الاغشية المخاطية للحيوانات والانسان ، وايضا في كساحة البلاليع والمجاري وفي التربة • وبينمـا تملك الاميبا (amoeba) كتلة مـن (٥×١٠^{-٧}) غرام، يبلغ وزن PPLO (٥×١٠^{-١٦}) غرام ويقع طولهـا في حوالي (١ر٠) ميكرومتر ، ويمكن رؤيتها فقط بمجهر الكتروني•

وبسبب حجمها تتسع الـ PPLO لما يقرب من مائة (١٠٠) انزيمةفقط• وهذه المتعضيات تنمو ببطء شديد • على ما يظهر تعيش هذه المتعضيات في بيئة حيث يردها بلا عناء العديد من المقومات اللازمة التي يتحتـم على المتعضيات الاكبر تمثيلها• رغم ذلك فان الـ PPLO متعضيات تامـة الوظيفيـة والتكاثرية التي لا تستطيع العيش على اكثر من، وربما اقل بكثير، مـائة (١٠٠) تفاعل بيوكيميائي• ولو تواجدت بيئة تتضمن جميع لبنات البنـاء اللازمة ومصادر طاقـة من قبيل الأتب، فانه يمكن أن تكون المتعضيـة الوظيفية أصغر الى حد بعيد وابسط حتى من الـ PPLD • وفي الحقيقةان باطن الخلية يمثل مثل هذه البيئة وهذا هو كون الفيروسات اصغر•

غير ان الفيروسات ليست متعضيات ذاتية الادامة ولا يمكن اعتبارهـا نوعا من الحياة ، وينبغي عدم النظر اليها كبدائية وانما بالاحرى كشكل بالغ التعقيد من الطفيلية ، ذلك لأنها هي ايضا من نتاج نشأة عمرها ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة • ولا تبدو الفيروسات بأنها الناتج النهائي لنشوء من بنية ابسط، بل هي أما مشتق منحرف لخلية او ناتج مسيخ لأحدأشكال الحياة الاعلى• (ملاحظة : فيحوالي($١٠^{-١٨}$) وحدة كتلة ذرية تبلغ الفيروسات

حوالي جزء من عشرة ملايين جزء من حجم الاميبا (يذكر الاصل

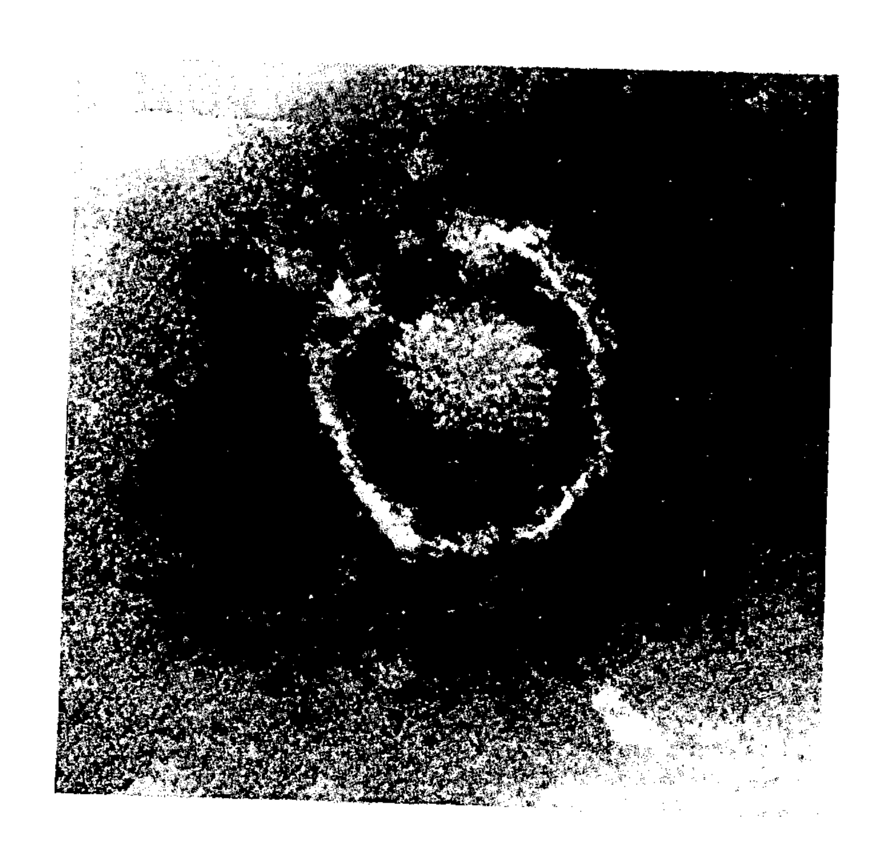
١٠٠

١٠٠٠٠٠٠ ٠٠٠

أو مائة جزء من الف مليون)• وعليه فان الاميبا بعيدة بالحجم عن الفيروسات كبعدنا بالحجم عن الاميبا)•

ان الفيروسات هي ابسط المتعضيات، انما يوجد صنف آخر يقع بين البكتيريا والفيروسات• وهذه هي الريكتسيا (rickettsiae) ، وهي،كالفيروس، طفيليات تتكاثر فقط في الخلية المضيفة ، انما هي أقرب الى البكتيريا من حيث الحجم والتعقدية والقدرة التآيضية • تسبب الريكتسيا امراضا عديدة منها التيفوس الوبائية والحمى المرقطة (Rocky Mountain spotted fever) ومن سماتها الملفتة للاهتمام شبهها بالميتوكوندريا • كلاهما يتضمن مكونات لدورة كريبس (Krebs) من التفاعلات، وكلاهما يستخدم (NADP) ، ألا ان كليهما يعجز عن مواصلة اكسداته الاعتيادية بعد تجميده في وسط ملح، انما يمكن وقايته من فقدان المناشطة باضافة الغلوكوز•

تفيد احدى النظريات ان الفيروسات نشأت كجينات مسيخة انحرفت عن الخلية ، وهذا التصور نابع من شدة نوعوية (specificity) الفيروس • انما النظرية الاكثر اغراء هي انه اولا الريكتسيا ثم الفيروس نشأت من البكتيريا، وفيما طور كل منهما منوالا طفيليا من الوجود كلاهما فقد القدرة الزيادة في تمثيل بعض الانزيمات اللازمة للمتعضيات الطليقة العيش •



الشكل ٢/١٥ ـ صورة ضوئية بالمجهر الالكتروني لجسيمة فيروس القوباء (فيريون). يحيط غلاف الفيروس بالنوكابسيدة (nucleocapsid) التي بشكل العشريني الاسطح . والكبسوميرات (capsomeres) وهي مورفولوجية ، هي الوحدات الفرعية للكابسيدة (capsid = علبية) ظاهرة. والشخط يمثل مائة (١٠٠) نانومتراً. والصورة مكبرة مائتي (٢٠٠) الف مرة.

يبدي الانسان اندهاشه وبالغ اعجابه بكفاءة النباتـات والحيوانـات ويفصح عن الفكرة ان مثل هذه الخلائق هي بالحتم أحداث فريدة يتعذر نشوؤها بالمرة عن التفاعلات الطبيعية لوحدها . لكن الطبيعة ليست مبنية على اللامحتمل . فقد نشأت اشكال مختلفة من الحياة ، ببنياتهـا وأجزائهـا الوظيفية بمثابة الاشكال الافضل من بين عدد كبير من الامكانات، أي ان العملية الانتقائية جعلت نشوءها محتملا في ظل الظروف القائمة . فقد ظهر الشكل الانسيابي للحركة البحرية العالية السرعة مع حيوان الستنوبتريجيوس (stenopterygius) وغيره من زواحف الدهر الوسيط او الميسوزوئي، ومع التونا وهي سمكة، والدولفين وهو ثديي. ونشوء هذا الشكل ثلاث مرات مستقلة عن بعضها وفي اشكال من الحياة لا صلة بينها لا يدل على صدفة نادرة ،بل بالاحرى على ان الدينامية المائية (hydrodynamics) تضم مجالا ضيقا مـن الحلول للمسألة . فالعين، التي تعتبر من الاعضـاء العجيبة، نشأت مستقلة مرات عديدة مدللة على ان هذه البنية هي الحل الافضل للتسجيل البصري.

ان الاحتسابات التي تشير الى أن فرصة التجمع بالصدفة للتواليـت القاعدية لأحد حوامض النوويك لها(١٠^٨٧) طريقة مختلفة(٥)، أو ان الاحتمالية لتكون بروتين ذي وزن جزيئي قدره ستون الفا (٦٠٠٠٠) بفعل التكتل تبلغ واحدا (١) في (١٠^٦٠٥) عديمة المعنى. ذلك لأن تكون الحياة لم يأت صدفة ولم يكن غير محتمل. ومثل هذه الاحتسابات مصممة للتدليل على استحالة حصول الحياة في ظل الظروف الطبيعية ، وهي مبنية على الفرضية الخاطئة ان الحياة نمت وازدهرت بتمامها وبكل تعقيدها وتطورها كما في المتعضيات المعاصرة . لقد بدأت الحياة ببساطة وبطء وتطورت كنتيجة للبقـاء التلقـائي الجهازي بالالتئام بين المواد التي ملكت خاصية الاشتغال ونبذ كل ما لم يملك هذه الخاصية.

ان المنظومات المعقدة ، من الامبراطوريات الى البنى البيولوجية ، لا تظهر الى الوجود فجأة تامة بكل مراحل نموها وتطورها . انما بالعكس . يتحتم عليها بعد ظهورها ان تنمو بمراحل ، مع ترسخ كل مستوى ترسخا تـاما مستقرا قبل التوجه الى المستوى أو العتبة الاعلى التالية . أي ان الحياة تطورت بدرجات او طبقات من البنى الكيميائية ، وكل درجة كانت بالتوالي أكبر وأكثر تعقيدا من سابقتها . وتضمنت وحدات كل درجة في بنيتهـا الكيميائية الوسائل اللازمة لخلق المرحلة التالية من تطورها.

تكثفت النووتيدات بالتدريج الى بولي نووتيدات، والحوامض الامينية الى بولي هضميتيدات، وتجمعت الجزيئات الضخمة لتكون خلية وظيفية. وبدورها امتزجت طبقة او درجة الخلية في نباتات وحيوانات متعددةالخلايا. وفي كل من مستويات او عتبات هذا الهرم اضطرت الوحدات الى الدخول في التئام ذاتي لتكوين المرحلة التالية الاعلى . انما هنا تكمن سمة بالغـة الخطورة للتكوين . فاذا تناولنا خلية حية معاصرة وقمنا بتجريدها وتفكيكها ثم أعدنا تأليف جميع المقومات البيولوجية لها، سنجد انها لا تلتئم ثانية في خلية وظيفية . ولا يمكننا تفكيك نبات أو حيوان متقدم متعدد الخلايا الى خلاياه التكوينية ثم اعادة تشييد المتعضية الى وضعها الاول الاصلي. اذ يبدو ان الخاصية المسؤولة عن الالتئام الذاتي قد فقدت في هـذه المرحلة مـن التطور.

وللوهلة الاولى يبدو لنا ان هذا ينقض المبدأ الاساسي تماما عنـد انطباقه على المستوى الذي تكونت الحياة فيه. لكننا قد رأينا ان المتعضيات المتعددة الخلايا تملك في المراحل البدائية من النشوء قوى الالتئام الذاتي، كما في الاسفنج واللاحشويات والاجنة في نموها الابتدائي. لقد كان في مرحلة لاحقة ، بعد أن قطعت المتعضيات المتعددة الخلايا شوطا في التطور،

ان اندمجت خاصية تنظيم وضبط هذه الخلايا المختلفة في بنية المطبوعة الجينية الشاملة فتطورت الخلايا معها في مرحلة شديدة النوعية لا شأن لها بالالتئام الذاتي.

ان ما يحصل هو أنه كلما تقدمت الوحدة في التعقيد كلما ازدادت نوعية علاقاتها الجزيئية الباطنية والبينية ، أي ببعضها البعض في باطن الجزيئة وبين جزيئة وأخرى، وعليه ما ان تتخذ صفتها الجديدة هذه بالارتقاء حتى تنخفض معها بالتناسب قدرتها على الالتئام على الوجه الصحيح ثانية ، وهنا لدينا انتزاع طبيعة الانزيمات كمثال باهر على هذا . تملك البولي هضميتيدات الصغيرة ، كالكيميائيات البوليمرية ، ترتيبة حيزية متسقة ومستقرة نسبيا . أما البروتينات ، من جهة أخرى، فانها تشغل الحيزكتضاريس بنيوية معقدة وفي الغالب هشة ضعيفة تفرضها سياقات الحوامض الامينية والعديد من التفاعلات الباطنية.

تتخذ سلسلة البولي هضميتيد شكلها، في عملية التمثيل الحيوي للبروتين، اثناء نموها من الريبوسومة ، بالالتفاف والالتواء والانطواء على نفسها وتمسكها التفاعلات الباطنية اثناء تكون هذه مع البروتينة المنبثقة . وفي ظل البيئة الكيميائية للخلية يبقى التضريس الثلاثي قائماً. غير انه اذا جرى عزل البروتينة وتعريضها حتى الى تغييرات طفيفة في تركيز $^{س}_{يد}$ او تركيز الملح، وايضا درجات الحرارة المرتفعة، فان القوى الضعيفة الممسكة بالبروتينة في تضريستها ستتعرض للتصدع. تقوم سلاسل البولي هضميتيدات باصلاح الترابط في الجزيئات وما بينها ولكنها تفقد توحدها لأن السلسلة التامة الآن تملك طرقا عديدة متاحة للتفاعل البيني. فاحتمالية اتخاذ البروتينة تضريستها الاصلية الآن ضئيلة كل الضآلة ، فيقال أن طبيعتها قد انتزعت ، وعندما تكون البروتينة انزيمة انشطتها متوقفة على نوعية

تضريستها يؤدي انتزاع الطبيعة الى ضياع النشاط الانزيمي(٦).

تكون احتمالية الالتئام الذاتي على أعظمها عندما تكون مكونات وريازة المنظومة البيولوجية صغيرة وبسيطة . فعلى سبيل المثال تملك الريبوسومات القدرة على الالتئام الذاتي، وقد تم تقليد واعادة تجميع الفيروسات أسفر عن الحصول على عدة نسب مئوية من المتعضيات المعاد تشييدها(٧). تنزع الطبيعة الكيميائية في العديد من المركبات البيولوجية الى التجمع في توليفات فوق جزيئية نوعية لحد ما ، والازدواج القاعدي للنووتيدات التتميمية مثال على مثل هذا التجمع . مع ذلك، توجد تفاعلات اضافية أخرى، بما فيها الازدواجات القاعدية ، ممكنة ولكن المنظومات البيولوجية لا تستخدمها، وربما كانت بعض من هذه جزءا من الخلايا الاولية ولكنها نبذت لكونها أقل فائدة من غيرها التزمت بها المتعضيات . غير انه لا ريب ان الالتئام الذاتي الابرز يتمثل في التحفز التلقائي لدى الدهنيات نحو تكوين البنية.

ان الشرط الادنى لتكوين الخلية البدائية هو الصلاحية الكيميائية في المكونات المتعاشرة مع التنظيم الملائم لاداء وظيفة التناسخ في الخلية . وكانت الاحتمالية على اقواها لهذا الغرض في الخلايا ذوات المكونات الاقل عددا والاصغر حجما مع احتفاظها بوظيفتها، كانت الاستحالات البيوكيميائية لتكون بطيئة ومنخفضة الفاعلية ولكنها لم يوجد أمامها ما ينافسها ولم يكن لها عدو غير الانحلال. والعتبة التي تحتم على المنظومات الحية الابتدائية عبورها كانت قدرتها على النمو والتكاثر بوتيرة اسرع من الانحلال أو الحلمأة ، وما ان عبرتها حتى عجلت الخلية تطورها بالتبدل الطفري الى قدرة متزايدة ابدا، وورث سلالة هذا الشكل الناجح الأول من الحياة الارض .

وكشهادة على البداية البسيطة للحياة هي أن تعقدية المتعضيات المتقدمة

قائمة على عدد من المواد مدهش في قلته . ومن بين آلاف الملايين من المركبات العضوية المحتملة تستخدم الحياة المعاصرة على الارض اقل من الفوخمسمائة (١٥٠٠) منها، وهذه الالف وخمسمائة مشيدة من اقل من خمسين (٥٠) لبنة لبناء جزيئية بسيطة.

الفصل السادس عشر ـ جوهريات الحياة

هل تملك الحياة كيميائية فذة لاءمتها ظروف فريدة تواجدت في الارض البدائية قبل أكثر من ثلاثة آلاف وخمسمائة (٣٥٠٠) مليون سنة خلت، أم كانت الحياة نتيجة لابد منها في الاحوال الجيولوجية العادية ؟ لتتسنى الاجابة على هذا السؤال يقتضي بنا أن نحدد ونتتبع المكونـات التي كانت ستلزم لتكوين خلية حية وظيفية • بالتثبت من المتطلبات اللازمة الصرف للمنظومة البيولوجية نستطيع أن نفهم الاحوال النوعية التي كانت ضرورية لنشـأة الحياة على الارض•

عند تفحص التركيبة الكيميائية للكائنات الحية لا نجد غير العنـاصر العادية ، اذ من بين اثنين وتسعين (٩٢) عنصرا طبيعيا يوجد فقط اربعـون (٤٠) منها في النباتات والحيوانات ، ومن هذه فقط ثماني عشرة (١٨) لازمة اعتيادياً• ومن بين الستة والثلاثين (٣٦) عنصرا الموجودة في الجبيلة الاولية أو البروتوپلازمة تشكل اربعة (٤) منها فقط ثمانية وتسعين بالمائة (٩٨٪) من مجموع التركيبة الكلي • توجد مقادير صغيرة من الفوسفور ، والكبريت، والصوديوم، والكلورين ، والكلسيوم، والمغنيسيوم، والبوتاسيوم، مع آثار للمعادن من حديد، وبورون ، ومـوليبدنوم، ونحـاس أحمـر، وكوبالت، وزينك، ومنغنيز، تمثل بمجموعها أقل من واحد بالمائة (١٪)• ولاتوجد أية عناصر نادرة او غير عادية بينها•

ان الكربون والهيدروجين والنيتروجين والاوكسجين التي تسـود في المنظومات البيولوجية هي، باستثناء الهليوم، العناصر الاربعة الاكثر غزارة في الكون• والكربون والهيدروجين والنيتروجين والاوكسجين ليست فقط هي من بين العناصر الاكثر تواجدا في الكون، بل انها ايضا تحتوي على خواص كيميائية متميزة عن غيرها لدرجة انها فريدة في ادوارها كعناصر جوهرية • ان

اوزانها الذرية منخفضة وتشكل عددا من المركبات العادية المستقرة والمتطايرة. ولهذا السبب أصبحت هذه العناصر الاربعة مركزة في الغلاف الغازي والمائي الذي يغشي سطح الارض.

Table 16.1. Volcanic gases.

Steam	H_2O	
Carbon dioxide	CO_2	
Nitrogen	N_2	
Sulfur dioxide	SO_2	
Hydrogen	H_2	
Carbon monoxide	CO	
Chloride	Cl_2	
sulfur		↓
Hydrogen sulfide	H_2S	Amounts
Hydrochloric acid and other acids	HCl	Decreasing
Volatile chlorides of iron, potassium, and other meals		

الجدول ١/١٦ ـ الغازات البركانية

نشأت الحياة من جملة المتطايرات المنتفثة من باطن الارض ، تكثفت وتراكمت لتشكل الجو والبحار ، وبدون التطور الجيولوجي للارض لم تكن الحياة لتتكون على سطحها ابداء وليس فقط دوران الارض حول الشمس في نطاق ضيق مع هوامش من بضع نسب مئوية لاتاحة قيام الاحوال التي أدت الى ظهور الحياة ، انما لو كانت الارض أصغر حجما بقدر، مثل القمر ، فان أي جو يظهر لها كان سيفلت من الجاذبية الضعيفة . لكن الاكثر من كل ذلك، في النسبة الاكبر للسطح الى الحجم كانت الحرارة من النويدات (nuclides) المحتبسة ستتبدد الى الفضاء الخارجي ولا تتراكم لتكوين البراكين، ولم تكن منطقة الصهارة (magma) لتتكون، ولم يكن باطن الارض ليتباين في طبقات مختلفة متداخلة ، وكان سيتعذر انتفاث المتطايرات الزائدة

الى السطح لتكوين الجو والبحار • وبدون كل هذه لم تكن الارض لتولد الحياة ابداً• (ملاحظة: nuclide) ، ربما تصلح «نويدة» تعريبا لها، هي صنف نوعي من الذرة لها متوسط عمر قابل للقياس)•

للكاربون خاصية لا يستغنى عنها وهي قدرتـه على تكويـن روابط كيميائية ليس فقط مع عدد كبير من العناصر الاخرى، انمـا ايضا مع ذرات كاربونية أخرى• توجد بعض العناصر الاخرى تشارك في خاصية تكوين الترابط التسلسلي أو التعاقبي (concatenation) هذه، انما لمجـال محدود فقط• فمن خواص الكاربون هي قدرته على التـرابط في سياقـات طويلة بروابط مفردة وثنائية وثلاثية وتشكيل مركبات حلقية او الدخول في عدد هائل من التوليفات أو الالتئامات مع عناصر أخرى• يقدر عـدد مركبـات الكاربون المعروفة الآن بأكثر من مليون ونصف المليون (٠٠٠ ١٥٠٠)• وهذه التنويعة الرهيبة للريازة الكاربونية هي التي وفرت التعقيد اللازم لاتاحة تفاعل الخواص الكيميائية والفيزيائية الذي يصنع الكيـان البيوكيميـائي الذاتي الادامة•

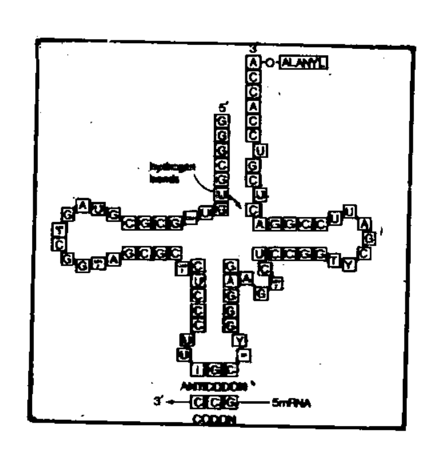
ان احدى خواص المنظومات الحية التي تميزها عن الجماد هي قدرتهـا على التكاثر ، ومع كون الطبيعة الفطرية الجوهرية للخلية نزعتها الى تشييد المكونات الكيميائية والفيزيائية في بنى، فاننا هنا في المقام الاول ازاءالجزيئات التي تتكاثر تلقائيا• لقد تم الوقوف على طريقة تناسخ حوامض النوويـك وكيفية تمثل سياق النوويتيدات الاربع في رسالة مرموزة يمكن ترجمتها الى سلسلة من الحوامض الامينية في عملية تمثيل البروتينات • يكمن أساس الحياة في الخاصية الفذة للحوامض الامينية المتمثلة في نزعتها الى التناسخ•

يتمثل الدور الاساس لحوامض النوويك في العمل بمثـابة مطبوعـة (blueprint) مستقرة نسبيا لتشييد المتعضيات ، ولكي تتمكن من اداء هذه

الوظيفة يتوجب أن تبلغ من الكبر ما تتمكن معه من حمل المدونة لبناء هضميتيدة. ولما كان كل حامض اميني يستلزم ثلاث نووتيدات ، فان حجم البروتينات الاولية المفترض هو الذي سيحدد المتطلبات من الحوامض النوويك. فاذا كان الفريدوكسين قد بدأ بهضميتيدة طولها اربعة حوامض امينية ، كما هو المعتقد الآن، فأن حامض النوويك اللازم كان، بناء على ذلك، ليكون في الاقل اثنتي عشرة (١٢) وحدة فرعية في الطول.

والدور الثاني لحوامض النوويك هو العمل بمثابة الرنأ الناقلة . فأنه ستمس الحاجة الى مسلسل من جزيئات الرنأ الناقلة لنسخ حامض النوويك المدون أو الرموز وترجمة تركيبته الى سياق من الحوامض الامينية . في المتعضيات المعاصرة يوجد رنأ ناقلة لكل من الحوامض الامينية العشرين.

تمكن روبرت هولي (Robert Holley) والعاملون[1] معه من التثبت ان سياق النووتيد للرنأ الناقلة للالانين يتألف من بولي نووتيدة لها خمس وسبعون (٧٥) وحدة فرعية تمكنها الانطواء الى الخلف على نفسها وتتعلق في ترتيبة بشكل ورقة البرسيم بالاربطة الهيدروجينية بين القاعدتين المتتامتين المتقابلتين . وقد تم منذ ذلك الحين التثبت من سياق زهاء خمس وسبعين (٧٥) جزيئة مختلفة للرنأ الناقلة. يتراوح عدد الوحدات الفرعية ما بين (٧٤) و(٩١) وجميعها تشكل نفس تضريسة ورقة البرسيم في العموم[2].



الشكل ١٦/١ - تضريسة ورقة البرسيم للرنأ الناقلة
(الرنأ الناقلة للالانين

يبدو ان الحجم الاقصى اللازم للنووتيدات المبلمرة لتعمل كرنأ ناقلة ليس ترتيبة ورقة البرسيم التامة وانما في الاقل السلسلة مطوية خلفيا على نفسها لتشكل عروة أو انشوطة دبوس الشعر (hairpin loop) لتوفر المجال للكودونة المضادة عند المنعطف • وبما أن نوعية الحوامض الامينيـة للرنأ الناقلة كانت لتنشأ في زمن مبكر فلربما ان جذوع الرنأ الناقلة الابتدائيـة المتطلبة للعروة الجانبية لورقة البرسيم كانت بنفس طولها اليوم تقريبا ، مما يضع الحد الادنى لحجم سلسلة النووتيد في حوالي اربعين (٤٠) وحدة•

لابد أن تناسخ حوامض النوويك كان قد بدأ قبل عملية التمثيل الحيوي للبروتين اثناء نشأة الحياة ، وبالنظر الى النوعوية العالية والتشابه الشديدفي بنية الرنأ الناقلة، فلربما أنها كلها منحدرة من جزيئة سلف مفردة واحدة•

انه لمن السهل الرؤية أن الجزيئات الضخمة كانت قد سبقت الخلية الحية الاولى في الظهور . انما عند تأمل الآلية التي تتكون بها حوامض النوويك والانزيمات في المتعضيات المعاصرة ، يواجه المرء معضلة . فحوامض النوويك تحمل المعلومات والآلية لتصنيع نفسها والانزيمات انما الانزيمات هي المحفزات للتفاعلات لاعداد كليهما . كيف اذن امكن أن تكون أي منهما بدون تواجد كليهما؟

هذا السؤال كان محيراً وقسم العلماء الى فريقين، فريق يعتقد ان حوامض النوويك[٣] جاءت اولا وفريق يحاجج ان الانزيمات او جزيئات ضخمة شبه الانزيمات هي الاكثر احتمالا لتكون المكونات الاصلية[٤].

ليتسنى تشييد أصل عقلاني لمنظومة بيولوجية يلزم أما ايراد البراهين على ان الانزيمات (أو بدائل مناسبة) كانت قد امكن انتاجها لا حيويا ، او أن يملك المرء القدرة على شرح كيف تمكنت منظومة بيولوجية من بدء الحياة بدونها.

ان الاساس الجوهري للكائنات الحية هو النمو وادامة الذات ببناء الجزيئات . تقوم هذه بتمثيل وترصيص الجزيئات الضخمة من وحدات أصغر، وهذه عملية تستلزم لقيما من الطاقة. تبلغ الطاقة السائبة المحررة في حلمأة زردة هضميتيد من جزيئة بروتينية ما بين اثنين الى اربعة (٢ـ٤) كيلوسعرة (kilocalorie) بالمولة ، ومعنى هذا هو ان ربط كل حامض اميني بسلسلة الهضميتيد في عملية تمثيل البروتين تستلزم (٢ـ٤) كيلوسعرة . وعملية بلمرة النووتيدات تحتاج الى كمية مماثلة.

وأحد السبل لسد هذا الطلب من الطاقة لتكوين اربطة كيميائية هو رفع درجة الحرارة فوق نقطة غليان الماء والى ارتفاع يجعل الطاقة الحرارية في المتفاعلات أو العوامل المتفاعلة تتجاوز الطاقة المطلوبة لتكوين الترابط الاسهامي للهضميتيد . لكن فيما تزداد الجزيئات تعقدا لمنظومة بيولوجية

تلعب التفاعلات الاضعف أو الاقل شدة دورا رئيسا في ادامة الريازة المتصاعدة، وتصبح البنية اكثر حساسية للفعل التمزيقي للطاقة الحرارية في تجاوزها للطاقة الكيميائية في هذه الاربطة.

لهذه الاسباب استنبطت المتعضيات طريقة بالغة الانتقائية والضبط لتوريد الطاقة اللازمة لتسيير عملياتها. ليتسنى تحويل تفاعلات التمثيل التصاعدية الى تفاعلات تلقائية نزولية تقوم المتعضيات بتنشيط احد المتفاعلات بمشتق عالي الطاقة ، وهذا يتطلب متفاعلا ثالثا يتضمن خزين طاقة أعلى ليتمكن من ترحيل بعض من طاقته وانزالها الى المتفاعل للتنشيط.

ان استخدام الطاقة الحيوية (bioenergetics) لدى الخلية الحية يشبه في الجوهر استخدام مصنع للطاقة الكهربائية . يجري تحويل الطاقة الحرارية من الفحم المحترق الى طاقة كهربائية في مولدة وتنقل الى البيوت حيث يجري تحويلها الى حرارة وحركة . في هذه العملية ، تستهلك كمية من الطاقة لتوليد الكهرباء أكثر مما يمكن ابدا استرجاعه. وبنفس الطريقة تقوم خلية النبات بالتقاف طاقة ضوء الشمس وتحولها في مركبات خاصة الى الأجزاء الأخرى في الخلية ، وتستعيد الطاقة لبناء الاربطة الكيميائية.

ومشتقات حامض الفسفوريك صالحة بوجه الخصوص لهذا الدور ، لتضم في بنيتها الطاقة المستجمعة من ضوء الشمس ، والطاقة المخزونة في الرابط البيروفوسفاتي هي التي تقوم بتموين عمليات التمثيل البيولوجية . وبالتالي، فان هذه المركبات العالية الطاقة مكونات ضرورية لجميع المنظومات البيولوجية . لكن رغم ان مشتقات البيروفوسفات يمكن أن تكون قد لعبت دورا ابتدائيا ، ألا أن ميزة الاستقرارية للأتب توحي الى انه ربما كان مقوم الحياة الاصلي.

ان الحاجة الى مشتقات البيروفوسفات تجعل الفوسفور عنصرا جوهريا.

لكن من بين العناصر الاكثر انتشارا الستة المطلوبة في المنظومة البيولوجية، وهي الكاربون، والهيدروجين، والنيتروجين، والاوكسجين ، والكبريت ، والفوسفور ، ينفرد الفوسفور لوحده بعدم تضمنه مشتقا متطايرا مستقرا ، وليس له بديل • والزرنيخ أوثق انتسابا الى الفوسفور من أي عنصر آخر لكن انهيدريدات حامض الزرنيخيك ليست مستقرة في الماء، والاستقرارية المائية للأتب العالي الطاقة هي تجعل من الممكن استعماله في تمثيل حوامض النوويك، والبروتينات، ومكونات خلوية أخرى•

انما هنا يبرز تناقض مثير للاهتمام • ان وجود الفوسفات في مياه البحر ضئيل وفقط بكميات جزيئية مجهرية ، مما يجعله واحدا من اندر العناصرفي البحار • قام اسيموف (Asimov) بمقارنة تركيبة ماء البحر بالعناصر المطلوبة ليتثبت من العامل الذي يعوق نمو الحياة • تناول الحوينة القشرية الدقيقة كوبيبود (copepod = مجذافية الارجل) كنموذج يمثل الحياة الحيوانية في البحار ، وقام بمقارنة النسبة المئوية للعناصر الجوهرية الموجودة في تركيبة الكوبيبود بمحتويات ماء البحر منها، وكل نسبة أعلى في الحوينة اعتبرت تركيزا لذلك العنصر في الحوينة ، وجد ان اربعة عناصر ، الكاربون والنيتروجين والفوسفور والحديد تواجدت بنسب تركيز كبيرة • والكاربون والنتروجين متوفران من الجو من خلال سلسلة الغذاء، انما بالنسبة الى العنصرين الآخرين كان عامل التركيز للفوسفور اربعة أضعاف نظيره في الحديد • وخلص اسيموف الى أن العامل المحدد من نمو الحياة في البحار هو كمية الفوسفور ، وهذا الامر واضح في المياه الداخلية ، أي الانهر وما اشبه، حيث يؤدي تلوثها بالفوسفور من سوائل التنظيف والاسمدةالكيمياوية الى نمو سريع للطحالب•

لكن مهما كانت خطورة الفوسفور للحياة ، فهو ليس عنصرا نادرا •

هناك بعض الصخور، وعلى الاخص بيرماغتيت والغرانيت (granite permagtitet) كثيرا ما تحتوي على قرارات كبرى من فلزات الاباتيت (apatite) وهي فوسفات ثلاثي الكلسيوم $Ca_3(PO_4)_2$ ($CaCl_2$)، والفلوراباتيت • و (fluorapatite) = ($3Ca_3(PO_4)_2 . CaF_2$) ، الصعوبة هي ان املاح كلسيوم حامض الفوسفوريك مقاومة للذوبان للغاية ، وتزيل الفوسفور بفعالية من اية مياه يتجاوز فيها تركيز الكلسيوم على تركيز الفوسفور • ومن الممكن تماما أن تكون الحياة قد نشأت باتصال وثيق بالصخور المحتوية على الفوسفور في القرارات الرسوبية للفوسفات الثانوية (secondary phosphates) المغتسلة من هذه الصخور•

قام جون ماكليندن[٦] (John McClendon) من جامعة نبراسكا باجراء مقارنة لغزارات والمتطلبات من العناصر الموجودة في المنظومات البيولوجيه، ووجد أن تسعة عناصر ، نظرا لمطلوبيتها الفريدة ، كانت لتكون جوهرية لنشأة الحياة • وهذه هي الكاربون، والهيدروجين، والنيتروجين، والاوكسجين، والفوسفور، والكبريت، والمغنيسيوم ، والبوتاسيوم ، والحديد • لابد أن الكاربون والهيدروجين والنيتروجين والاوكسجين كانت غزيرة في المكونات الغازية للجو ، بينما كان الفوسفور مركزا في قرارات الصخور ، مع تواجد العناصر الباقية المطلوبة في مياه البحر في الاحوال الاختزالية للارض البدائية•

توجد المعادن الثقيلة ، من الحديد والمنغنيز ، والزينك، والنحاس ، والكوبالت، والموليبدنوم، بشكل رئيس في قشرة الارض ، أما البحار فهي تقريبا خالية منها• مع ذلك، هذه العناصر جوهرية للغاية لأغلب النباتات والحيوانات • وجد ماكليندن ان تركيز المعادن الثقيلة الجوهرية في النباتات لم يتناظر مع التركيزات البحرية وانما تناظر مع وجودها في القشرة • ويبدو

ان هذا يتناسب مع النباتات لأنها استوطنت المناطق اليابسة من الارض قبل الحيوانات وكيفت تركيبتها البيولوجية لتتلاءم والمقومات القشرية المتوفرة ، وتأثر دمج المعادن المناسبة لانزيمات معينة بغزارة المعدن.

لكن هل كان للمعادن الثقيلة دور في بيوكيمياء الاشكال الاولية من الحياة على الارض ؟ والاجابة على هذا السؤال تتوقف على تلاحقية الاحداث في نشأة الحياة البدائية . فالحديد والنحاس والمنغنيز تعمل بالاساس كمكونات للبروتينات المستخدمة في عمليــة التمثيــل الضــوئي. كان دي او هول[٧] (D.O. Hall) قد اقترح ان الفريدوكسين ، وهو البروتين المتضمن للحديد والداخل في نقل الالكترونات في مسلسلات التمثيل الضوئي، ربما كان أول بروتين تكوّن، وعليه فانه من المعقول تماما أن تكون وسيلة لتسخير الطاقة من ضوء الشمس قد برزت في زمن مبكر من نشأة المنظومات البيولوجية . فان صح هذا فانه يتوجب لتفسير تنشئة عملية التمثيل الضوئي لدى المتعضيات في البحار أن تحتسب لوفرة اكبر من هذه العناصر في مياه البحر آنذاك مما هي الحال اليوم. والآن بوسعنا أن نرى ان عندما نشأت المتعضيات الضوء تمثيلية قبل أكثر من ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون سنة خلت كانت كيمياء هذه العناصر في الاحوال الاختزالية للارض الاركية تختلف عما هي عليه اليوم.

Table 16.2. Concentrations of frequently required heavy metals.

	requirement Plant	Crust (mM)	Sea and air
Iron	0.400	0.015	0.0001
Manganese	0.200	0.43	0.000002
Zinc	0.060	0.87	0.000050
Copper	0.020	1.1	0.000075
Cobalt	0.0003	17	0.000036
Molybdenum	0.0002	900	0.0001

Source: Adapted from J.H. McClendon, J. Mol. Evol. 8, 175-195 (1976).

الجدول ٢/١٦ – تركيزات المعادن الثقيلة المطلوبة كثيراً • (المصدر : محورة من جيه ايج ماكيندون في مجلة النشوء، ٨، ص١٧٥–١٩٥ (١٩٧٦)•

لما كان العديد من المعادن الثقيلة اكثر غزارة في القشرة مما في ميـاه البحر، حتى في الاحوال الاختزالية ، فانها لربما اندمجت في انزيمات المنظومات البيولوجية المتقدمة بعدما خلقت النشأة التطورية حـاجة اليها • ويبدو ان الكوبالت والموليبدينوم يقعان في هذه الفئة ، والكوبالت كجزء من الفيتامين ب١٢ (B12) ، والموليبدينـوم في اوكسداز الـزانثين (xanthine oxidase) في الفقريات ، يرجعان بوضوح الى تطور متأخر • انما للكوبالت ايضا صلة بتثبيت النيتروجين مثلما للموليبدينوم بالنيتروجناز (nitrogenase) • معذلك، ان الخضار الحبوبية او القطانية (legumes) ببكتيرياها التعايشيـة لتثبيـت النيتروجين، تكف عن احتياج الموليبدينوم اذا توفـرت الامونيـا[٨]• لكن مرغوليس[٩] ترى بعكس هذا ان النيتروجناز في تثبيت النيتروجين بدأ في المتعضيات الاولية ، وبما ان العنصر الجوهري موليبديندم منخفض الوفرة ذهب بعض الباحثين الى اقتراح أصل للحياة من خارج الارض[١٠]• لكن يبدو ان الاحتمال الاكثر هو أن كلا الكوبالت والموليبدينوم لم يكونا ضروريين عند اول ظهور المنظومات البيولوجية على الارض وانما اندمجا بعدما كانت النشأة قد قطعت شوطا طويلا•

كان دور المغنيسوم كجزء من اليخضور قد تطور مع ظهور الطحـالب الخضرزرقاوية في زمن لاحق• أن تواجد بوفيرينات الفناديوم (vanadium) والنيكل (nickel) في البترول او النفط الخام لا يدل على ان هذين المعدنين كانت النباتات تستخدمها في عملية التمثيل الضوئي• بل التفسير الاكثـر

عقلانية هو انهما تتجا عن ازاحة المغنيسيــوم لتشكيل شبكيات الفنــاديوم والنيكل الاكثر استقرارا اثناء تكون البترول.

من جهة أخرى ربما ان الكلسيوم، الذي هو ضروري للغاية في الحيوانات المعاصرة لتفاعلات فسيولوجية عديدة وايضا للبنية الهيكلية ، لم يكن عنصرا جوهريا بدائيا، ويبدو انه اصبح حاجة اشتقاقية عندما طــورت النبــاتات والحيوانات بنى خارجية للخلايا.

وجد ماكليندن في فحوصاته ان هناك حدودا فاصلة لا يمكن ان يقع عنصر دونها ويستمر بالتوفر بكميات وافية للمنظومات البيولوجية . يقــع التركيز الادنى للبحار ما بين واحد واثنين (١ــ٢) نانومولار وما بين عشرة الى واحد وعشرين (١٠ــ٢١) ميكرومولــة بالكيلــوغرام في قشــرة الارض . والكوبالت والموليبدينوم فقط يدانيان المستوى الاوطأ لكن الاعتماد عليهما في الظاهر كان نشأ في وقت متأخر وليس مطلقا . بعض العناصر ، كالروبيديوم (rubidium) والسترونشيوم (strontium) ، تتوفر بغــزارة كافيــة وهي كيميائيا صالحة للعمليات الحيوية ولكنها لا تستخدم نظرا الى الوفرة الاكبر لعناصر مماثلة.

توجد مادتان اخريان لا يمكن الاستغناء عنهما لتكــوين المنظومــات البيولوجية ، وهما الماء والدهنيات . لكل منهما خواص فريدة تختلف عنها في الآخر، وهذا السلوك المتناقض لخواص كل منهما هو الذي يجعلهمــا ضرورة مطلقة للحياة.

ان الماء اكثر من مذيب للتفاعلات البيوكيميائية وهو في أغلب الاحــوال عامل متفاعل . تشمل الكيمياء الخلوية بوجه رئيس تكوين وحلمأة المشتقات الحامضية، والفسفرة والربط الاقتراني (coupling) للنوويدات هي تفــاعلات تأسترية (estrification) ، بينما تمثيل البروتينات عملية اميدية (amidation)

ولما كانت هذه التكثيفات (condensations) تشمل ازالة الماء بين العوامل المتفاعلة ، بينما الحلمأة هي اضافة جزيئة من الماء، فان الماء جزء مباشر من التفاعلات • عند اجراء هذه التفاعلات في وسط مائي يبلغ تركيز الماء خمسة وخمسين (٥٥) مولار • وفي التركيز العالي يلعب الماء دورا مهما في تثبيت موضع توازن التفاعل•

بوسع الماء أن يعمل كحامض وكقاعدة ، ويقوم بكلا الدورين في العمليات البيولوجية • يعمل الماء كقاعدة ضعيفة ويتقبل بروتونة (proton) من تفكيك مجموعات حامض الكربوكسيليك•

$$\underset{\text{acid}}{R\text{-}COOH} + \underset{\text{base}}{H_2O} \rightleftharpoons \underset{\text{base}}{R\text{-}COO^-} + \underset{\text{acid}}{H3O^+}$$

وفي برتنة (protonation) الامونيا يعمل كحامض ، أي انه يقوم بتوريد البروتون

$$\underset{\text{base}}{NH_3} + \underset{\text{acid}}{H_2O} \rightleftharpoons \underset{\text{acid}}{NH_4^+} + \underset{\text{base}}{CH^-}$$

وفي تحفيز عملية التغير النظري (mutarotation) للامونيا يعمل بكلتا الصفتين أي كحامض وكقاعدة•

ان كون الماء سائلا ابدا في درجات الحرارة الاعتيادية يعود في الواقع الى أحد خواصه الأبرز• ان الماء لا يتواجد كجزيئات مفردة في الظروف العادية العيارية ، انما هو بالاحرى عرض أو تفنيد جزيئي بيني للجزيئات مرتبطة معا بأربطة هيدروجينية• ويمكن لجزيئة من الماء أن تشترك في تكوين اربعة روابط هيدروجينية كحد اقصى، وهذه الشبكة الرابطة هي التي تمنح الماء درجة غليان عالية بالرغم من بساطة جزيئته• انما اذا كان

H_2O يسلك خواصاً أكثر شبهاً بتلك الهيدريدات (hydrides) العناصر الاخرى من المجموعة ٦أ (VIa) للجدول الدوري، H_2S، H_2Se، H_2Te فلم تكن درجة غليانه (١٠٠°) مئوية ، بل (-٨١°) مئوية (أي ناقص واحد وثمانون مئوية).

والماء من المواد القليلة التي تتمدد عند التجمد ، وتجعل الحالة الصلبة أقل كثافة من السائلة . لكن لو انه كان يسلك كأغلب المواد ، فان الثلج أو الجليد ، بدلا من العوم ، كان سيغوص ، وكانت البحيرات لتتجمد صلبة اثناء الشتاء، وفيما تراكم الجليد في قاع البحار كان حجم أو محتوى المـــاء سيصبح أقل وأكثر ملوحة بالتزايد . وصفة أخرى للماء هي قدرته العالية فوق العادة لتقبل الحرارة وهذه تعمل كمهدىء للبيئة البيوكيميائية الباطنية. ومن المعقول امكان تواجد الحياة بدون هذه الصفات الخاصة للماء، رغم ان انعدامها كان بالتأكيد سيخلق مشاكل جديدة كلية.

لكن كل هذه السمات تعود الى الصفة الوحيدة للماء التي تجعلـه يتعذ ر الاستغناء عنه للحياة . ان قدرة الماء على تشكيل تنضيدة من اربطة هيدروجينية قوية مع ذاته هي صفة او خاصية لها تأثير عظيم على المنظومات البيولوجية . فالكثير من الاسناد الذي يمسك البروتنات المعقدة معا في ترتيبتها الثالثة أو الثالثوية (tertiary) متأت من بنية (الماء) اللازمة حولها. ثم ان العلاقة أو الصلة الخاصة بين الماء والدهنيات هي التي خلقت السمات المألوفة للخلايا . وبعدم تمازجهما يملك الماء والدهنيات فاصلا بينيا يتيح مجالا من التماس للتفاعل بين المواد اللامتشابهة او المتنـــاقضة (dissimilar) كانت لتعجز عن التفاعل اعتياديا في نظام فردي الطور، ويجعل التحفيز أو الكتلسة (catalysis) ممكنة.

تشكل الدهنيات فئة من المركبات العضوية مقاومة الذوبان أو تـذوب قليلا في الماء ، ولكنها تذوب في محاليل عضوية مذيبة للدهنيات . والحوامض

الدهنية تريغليسريد او ثلاثي الغليسريد (triglycerides) ، والفوسفودهنيات (phospholipids) والغليكو دهنيات (glycolipids) تنتمي الى هذه الفئة من المركبات. تصبح الدهنيات المتضمنة للسلاسل البرافينيـة كالحـوامض أو مشتقاتها مقاومة للذوبان عندما تتجـاوز السلسلةالدهنية (fatty acids) الاليفاتية حوالي أربع وحدات من المثيلين (methylene) ، وذلك لأن تشبيكة الماء الممتدة من النهاية القطبية لجزيئة الدهنية عند هذه النقطة تعجز عن احتواء أو تغمد الرفل الهيدروكاربوني (hydrocarbon tail)فتبقى الدهنية مقاومة للذوبان . ولما كانت متنافرة من الماء فانها تنحجب من بنية الماء وتمتزج أو تأتلف ببعضها، وهذه الخاصية الطبيعية الملموسة للدهنيات تجعلها حيويـة الضرورة لتكوين الخلية.

تتألف الخلية من ترتيبة محكمة أو مكتنزة من الجزيئات البيوكيميائية مغلفة في غشاء شبه ترشيحي، والغشاء طبقة ثنائية من الفوسفوردهنيات مع بروتينات وثيقة الصلة به في ترتيبات مختلفة ، بما في ذلك الارتباط بالنهايات القطبية للدهنيات في الفاصل البيني للماء ـ الدهنية . لكن بما ان الخلايا تتواجد في البيئات المائية فأنها لها سمات عـديدة لا تسد احتياجاتهـا الا الدهنيات فقط.

والخلية غير قابلة للذوبان ، وحتى المواد الشديدة المقاومة للذوبان تنحل فيها الى حد اشباع الوسط الذي يكتنفها . فاذا كانت الخلية ذات غشاء ليس كليا مقاوما للذوبان ، فستكون النتائج تدميرية ، لأنها ستظل تواجه خطر الابادة بالذوبان والانحلال.

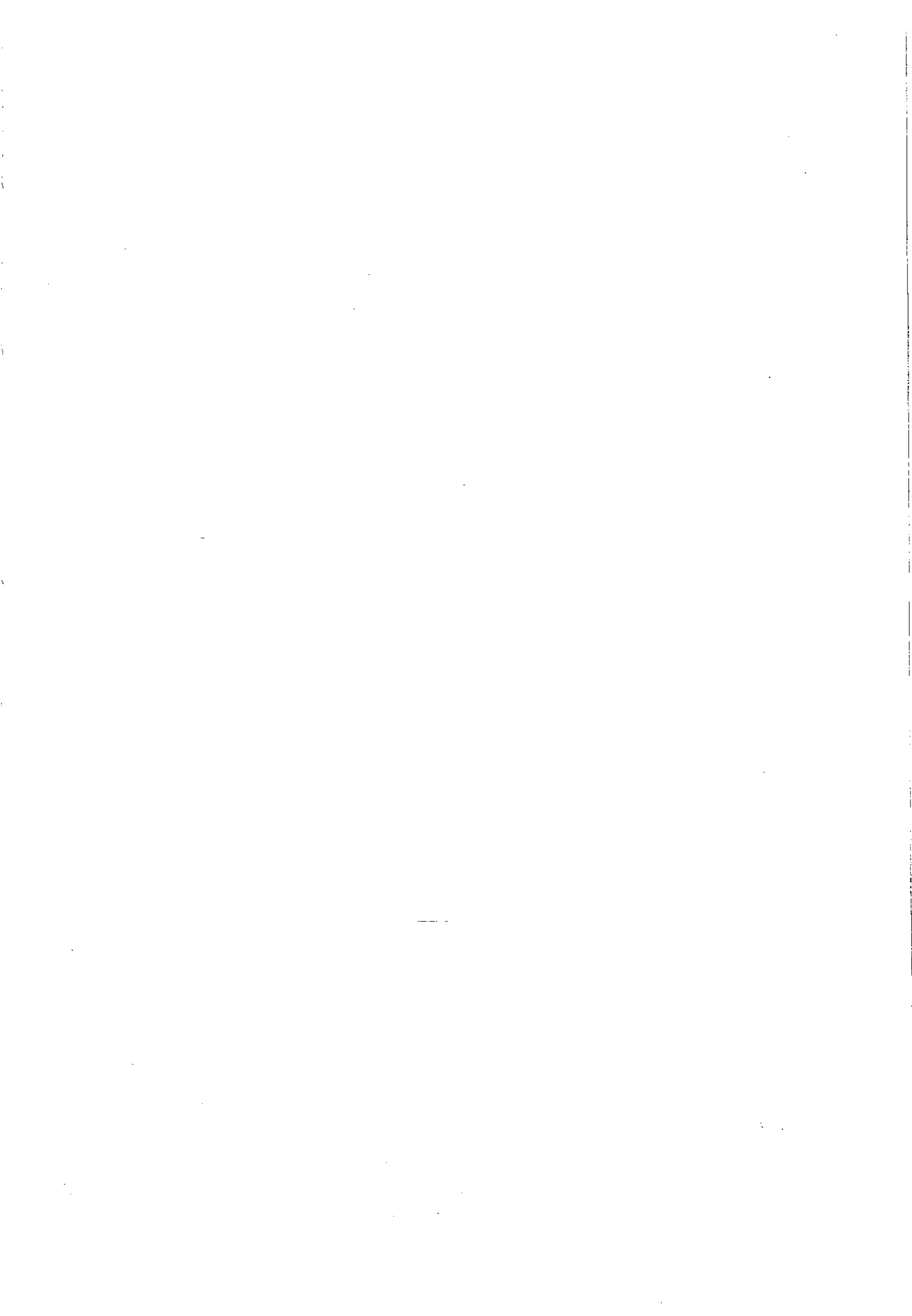
اضافة الى كون الغشـاء مقـاوما للذوبان ، يتوجب ايضا أن يكون منافرا للماء، لأن حجب الماء هو الذي يجعل الدهنيات تجتمع معا لخلق طبقة ثنائية تعمل كمستوى الاتصال بين المقاصير المائية المختلفة. والدهنيات ،

زيادة على ذلك ، أخف وزنا من الماء بينما المركبات البيولوجية اكثر كثافة من الماء بقليل، وعند امتزاج الدهنيات بالمركبات الاخرى يمكن أن تداني كثافة المزيج الناتج كثافة الماء.

ان الفوسفودهنيات جوهرية الضرورة ومتواجدة في جميع المنظومات البيولوجية . تتخذ الفوسفودهنيات ذاتيا تضريسة معينة في الماء بحكم احتوائها على نهاية قطبية تتفاعل مع جزيئات الماء وسلاسل الهيدروكاربون المحجوبة عن الماء. وعند ترجيج أو خض خليط من الفوسفودهنيات والماء تتكون جسيمات كروية صغيرة تسمى بالدهنوسومات (liposomes) تتراصف الجزيئات الفوسفودهنية في باطنها بطبقات مزدوجة مع سلاسل الهيدروكاربون مؤتلفة وتمتد مجموعات الفوسفات القطبي الى الخارج بالاشتراك مع الماء. يمكن تكوين الدهنوسومات في مسلسل من الطبقات المزدوجة المتداخلة ، كل منها على هذا المنوال . هناك ما يشبه بالتجمع الذاتي يقوم بخلق تضميد للمواد في باطن الكرة ويمنع انتشار الايونات والجزيئات عبر حاجز الدهنية ، وهو يتكون تلقائيا مع الفوسفودهنيات في الماء، وهو سمة ثابتة في جميع المنظومات البيولوجية.

يبدو ان الحد الادنى من المتطلبات اللازمة لظهور خلية وظيفية يتألف من تسعة عناصر جوهرية ، وبيئة مائية ملائمة، وتكون حوامض النوويك الصغيرة كالأتب والهضميتيدات والفوسفودهنيات . تتكون حوامض النوويك من انصاف بيورينات وبيريميدينات وريبوزات ، وهضميتيدات الحوامض الامينية ، وفوسفودهنيات الغليسرول الدهني، ووحدات فرعية صغيرة عديدة اخرى. وهذه هي لبنات بناء الجزيئات الضخمة والبنى لمتعضية حية.

لكن المعضلة هي ان جميع لبنات البناء هذه لتنشئة متعضية حية تأتي من مصدر واحد فقط،، وذلك هو متعضيات حيــة أخرى. وهكذا نجـد أنفسنا قد عدنا الى البداية . فاذا كانت لبنات البناء لتشييد منظومــة حيــة تأتي فقط من منظومات حية أخرى، كيف اذن جاءت الخــلايا الاولى الى الوجود؟



الفصل السابع عشر ـ البحث عن اللبنات البنائية

في عام ١٨٠٧ عندما قام برزيليوس بتعريف المركبات العضوية بصفتها منتوجات المنظومات البيولوجية كليا دون غيرها، كان مصيبا الى حد كبير، ولم يكن قيام تلميذه فريدريش فوهلر في عام ١٨٢٨ بتمثيل اليوريا من سيانات الامونيوم (ammonium eyanate) اكثر من سوق الادلة الايضاحية الثبوتية على امكانية تمثيل المركبات العضوية من كيميائيات لا عضوية • لكن، بدون يد الانسان التوجيهية بقيت المركبات العضوية ضمن نطاق البيولوجيا • نشأت الكيمياء العضوية كفرع من الكيمياء اللاعضوية وبدون منازعة الحقيقة القائلة ان المركبات البيولوجية يتم انتاجها في الطبيعة فقط من قبل المتعضيات الحية•

لكن آنذاك جرى ابطال مبدأ التولد التلقائي، الفكرة القائة بأن الحياة الميكروبية نشأت تلقائيا ، وذلك بقيام لويس باستور في عام ١٨٢٧ باجراء بضع تجارب بسيطة • وحتى الاعتقاد بأن الحياة مردها قوة حيوية لا شأن لها بالجماد كان قد بدأ يفقد اتباعه ازاء اتساع واتضاح كيمياء المنظومات البيولوجية • غير ان هذا النبذ للمعتقدات والمبادىء القديمة قبل الاستعاضة عنها بجديدة خلق ثغرة حادة في مفهوم العلوم للعالم الملموس، وبقي أصل الخلية البدائية سراً دفينا مغلقا اذا أمكن تعريف جميع الكائنات الحية بمنطوق الخلية البيولوجية ، والخلية هي وحدة وظيفية من المركبات الكيميائية وعملياتها التفاعلية ، كيف اذن جاءت الخلايا الاولى الى الوجود في الارض البدائية؟

ولاسيما، كيف تمكنت الخلايا الحية الاولى من الحصول على الحوامض الامينية التي تصنع بروتيناتها؟ فمتى ما تمكنت الخلايا من تمثيل البروتينات

يصبح بمقدورها انتاج الانزيمات التي كانت بمثابة المفتاح للماكنة البيولوجية بأسرها • لكن جميع الحوامض الامينية الموجودة في الطبيعة تأتي من نبات او حيوان او ميكروب في زمن او آخر• وحتى لكي تتمكن النباتات من استخدام ثاني اوكسيد الكربون ، والفلزات ، والماء، لانتاج الحوامض الأمينية، والسكاكر، والدهنيات ، سيلزمها حشد معقد من الانزيمات والبنى الخلوية • في الاحوال الجيولوجية القاحلة العقيمة للارض ما قبل البيولوجية كان من غير المعقول البتة تصور كيف ابتدأت حتى ابسط اشكال الخلية البدائية • وظلت هذه المعضلة تقض مضجع العلماء طوال أكثر من قرن واحد•

من بين أقدم المحاولات لصوغ جواب للمعضلة كانت محاولة الفسيولوجي الالماني العظيم ادوارد بفلوغر (Eduard Bflüger) • ففي ورقة بارعة قام بنشرها في عام ١٨٧٥ طرح بفلوغر[1] ان المركبات العضوية البسيطة ربما تكونت من فلزات لا عضوية بفعل الاحوال الطبيعية للارض البدائية ، وأشار، استنادا الى المعرفة الكيميائية المتوفرة قبل مائة عام، الى أن البوتاسيوم والكاربون ينتجان سيانيد البوتاسيوم (potassium cyanide) عند تسخينهما معا الى درجة عالية في الهواء ، وعلل لربما ان العواصف الرعدية كانت قد فعلت نفس الشيء• أدرج في ورقته عدة تفاعلات أخرى توضح كيف يمكن انتاج المركبات العضوية من مواد لا عضوية ، وأن عند تسخين ثاني كبريتيد الكربون (carbon disulfide) مع كبريتيد الهيدروجين (hydrogen sulfide) نحصل على الاثيلين ، وكما كان برثيلوت (Berthelot) قد وجد، ان الميثان والكاربون والهيدروجين تتفاعل تحت التفريغ الكهربائي لتعطي الاستيلين الذي يمكن أكسدته الى حامض الاوكساليك (oxalic acid) • عند تسخين أول اوكسيد الكربون مع هيدروكسيد البوتاسيوم يتكون لدينا فورمات

البوتاسيوم (potassium formate) ، ومن تقطير الفورمات استحصل بفلوغر على الميثان ، والاثيلين، والبيوتلين (butylene) والاميلين (amylene) ومماثلات اعلى. عند تسخين فورمات الامونيوم، تكون منها سيانيد الهيدروجين. كما ان تمرير الامونيا فوق الكاربون المتوهج اسفر عن تكون سيانيد الامونيوم . كان معلوما ان السيانيد مركبات تفاعلية ، ولذلك افترض بفلوغر ان السيانيد تفضي الى البروتينات، وطرح تصورا ان اصل الحياة سبقته فترة وسيطة كانت المركبات العضوية عديمة الحياة تتبلمر أثناءها لتصبح بروتينات ذات طبيعة حيـــة.

للاسف ان بفلوغر عاش في زمن كانت البنية الاولية للبروتينات لا تزال قيد التحديس . طرح نظرية للبروتوبلازمة يقول فيها انه يظن ان النيتروجين كان في الاكثر بشكل السيانوجين. لكن عندما سقطت نظرية سيان — بروتين (cyan-protein) لبفلوغر ، سقطت معها نظريته حول اصل الحيـــاة ايضا ، وانقضى زهاء الخمسين سنة قبل ظهور اية نظرية هامة حول أصل الحياة.

في عام ١٩٢٢ طرح البيوكيميائي الروسي اوبارين (A.J. Oparin) نظرية الى الجمعية النباتية في موسكو حول الالتئام الذاتي للمركبات العضويــة اللاحيديوجينية التكوين (abiogenetically formed) كطلائع (precursors) للخلايا الاولى. وقد نوظر ان هذه الطلائع كانت قد نشأت بالاغتــذاء على المركبات العضوية اللاحيوية حتى تطورت الى نقطة امتلاكهـــا القدرة على تمثيل بيوكيميائياتهـــا بنفسهـــا . اقترح اوبـــارين ان الهيدروكاربونات (hydrocarbons) كانت المركبات العضوية الابتدائية التي تكونت بتفـــاعل المـــاء وكاربيدات المعـــادن (metal carbides) الموجـــودة في لـــب الارض الحديدي. عند التقاء الكاربيدات والبخار في سطح الارض نشأت عنهمـــا الهيدروكاربونات . قال انها كانت ستحترق بفعل الاوكسجين في الهواء لكن

التفاعل لم يكن ليكون تاما بحيث ان اول اوكسيد الكربون ومشتقات الاوكسجين من الهيدروكاربونات والكحول والالديهايد والكيتون وحوامض الكربوكسيليك تكونت بالنتيجة ، واعتقد ان مركبات النيتروجين كانت مشتقةمن السيانوجين المتكون من تفاعل تتريت المعادن (metal nitrites) مع الهيدروكاربونات • قام بنشر نظريته في عام ١٩٢٤[٢]، وتبعتها طبعة منقحة في عام ١٩٣٦[٣]•

كان أوبارين متأثرا بآراء عصره القائلة ان الارض كانت في مرحلتها الاولى ذائبة وان الجو بقي جوهريا كما هو بدون تغيير عبر دهور التاريخ، عندما ابدى العالم الوراثي (geneticist) البريطاني جيه بي اس هالدين (J.B.S. Haldane) تأييده لنظرية النشوء الكيميائي في عام ١٩٢٨ افصح عن فكرة جو خال من الاوكسجين• بالنسبة الى هالدين ان قوى الضوء ما فوق البنفسجي الفاعلة على الماء وثاني اوكسيد الكربون والامونيا خلقت تنويعة من المواد العضوية تراكمت في البحار البدائية حتى بلغت قوام « حساء مخفف حار•»

ان ادراك هالدين ان الجو الخالي من الاوكسجين كان المفتاح الى تمثيل المركبات العضوية كان بلاءا باهرا للتبصر في غياهب اصل الحياة • لكن الغريب في طبيعة الانسان هو النزوع الى جعل صيغة العبارة الفاتنة تهيمن على تفكيره، فأصبح الحساء المذوق الحار لهالدين «الحساء البدائي»• وانتشرت هذه العبارة وتعممت على نطاق واسع طوال أكثر من خمسين سنة دونما أي اثبات جيولوجي على صحتها في الواقع مطلقا•

لم يكن يؤخذ عموما قبل هالدين بفكرة نشوء الحياة في بيئة منقوصة او مختزلة ، وكان الاجماع سائدا على ان الاحوال المؤكسجة القائمة اليوم كانت ضرورة لابد منها للحياة وان الحياة نشأت في هذه الاحوال• لكن

باستور اكتشف اثناء دراسته للتخمر ان الحياة ممكنة بدون اوكسجين وطرح حشدا من المتعضيات اللاهوائية التي كانت تؤايض المواد بدونه. وعندما وجد هالدين في عام ١٩٢٨ ان عمليات التخمر التآيضية للمتعضيات الحية كانت كلها مماثلة، بينما التفاعلات التأكسدية كانت في الاغلب مختلفة، خلص الى ان التآيض اللاهوائي كان الاكثر بدائية ، وطرح ان المتعضيات الحية الاولى كانت لا هوائية كان مصدرها من الطاقة للتآيض المواد الشبه مستقرة (metastable) الناتجة عن فعل الضوء ما فوق البنفسجي القادم من الشمس.

ولم يكن حتى عام ١٩٢٩ ان تم الاكتشاف ان الهيدروجين هو العنصر الاكثر غزارة في الكون(٥). بدا واضحا أن جو الارض المؤكسج لا يمكن ان يكون هو نفس غلافها الغازي الاصلي في كون يتألف معظمه من الهيدروجين. وعليه فقد كان هناك طريقتان لانتاج الاوكسجين الطليق، أما بالتفكيك الضوئي للماء في أعالي الجو او بالتمثيل الضوئي، وبديء الآن بأدراك اهمية المتعضيات الضوء تمثيلية المولدة للاوكسجين في نشأة البيئة الارضية . قام اوبارين بإضافة اشارة الى أصل الارض اللاهوائي في الطبعة المنقحة لكتابه ، ويسود الاعتقاد في العموم الآن ان نشأة الحياة على الارض خلقت الحالة المؤكسدة للجو والبحار.

في أعقاب الحرب العالمية الثانية بدأت فكرة امكان تفسير نشأة الحياة بكيمياء الارض البدائية تجتذب الانصار ، وكانت التحديسات تشير الى ان الحياة نشأت في وسط عضوي ما قبل الحياتي . غير ان عقدة المشكلة كانت ايجاد شرح معقول لكيفيةامكان انتاج المواد العضوية من الغازات والاملاح والفلزات اللاعضوية قبل تواجد أية منظومات بيولوجية . لما كانت النباتات تنتج المركبات بأختزال ثاني اوكسيد الكربون ، فان أحد السبل الى ايجاد الحل كان القيام بأنجاز هذه العملية بوسيلة من الوسائل المادية . لكن حتى

اذا أمكن الحصول على مركبات صغيرة ، فان هذه بدورها سوف يلزم تكثيفها الى سلاسل طويلة قبلما يمكنها أن تتمخض عن خلية وظيفية • في عام ١٩٥١، قام جيه دي برنول (J.D. Bernall) وهو خبير كريستالوغرافي وفيزيائي من جامعة لندن بوضع مؤلفه: «الاساس المادي للحياة: "The Physical Basis of Life" ذكر فيه ربما ان الامتصاص في أسطح الاطيان الصلصالية كان وسيلة لتركيز وبلمرة مركبات ما قبل حياتية بسيطة•

لم تكن التكنولوجيا التحليلية آنذاك قد بلغت المستوى الذي اتـاح تحليل الكيمياء المعقدة للخلية • كانت حوامض النوويك معروفة ، لكـن اهميتها بالضبط كانت لم تزل غير اكيدة ، وكانت البروتينات تعتبر المـادة الأولية للحياة• ثم جـاء جهاز الفرز أو النبذ المركزي الفـائق السرعـة (Ultracentrifuge) ليمكن البيوكيميائيين من التثبت ان للبروتينات اوزانـا معينة، لكن ما اذا يمكن اعتبارها مركبات متوحدة متسقة مثل الكيميائيـات العملاقة بقي موضع الارتياب، لكنها كان لها خصائص غروانية[٧] (colloidal) لم يجر الاعلان عن اول بنية أولية تامة للبروتين الى أن قام سانغر[٨] (sanger) برسم سياق الانسولين (insulin) في عام ١٩٥٣، وهو انجاز كان العديد من البيوكيميائيين حتى ذلك الوقت سيعتبرونه من باب المستحيل•

رغم ان فكرة نشوء الحياة عن مجموعة من التفاعلات الكيميائية في الارض البدائية كانت تروق للمنطق العلمي، فانه لم تكن توجد اية بيانات تجريبية لاثبات كيف كان ذلك ممكناء وفي الوقت الذي كان لا يزال يجري تفسير عملية التمثيل الحيوي للبروتينات بمنطوق مفهوم افتراضي غامض متداول، فقد بدا ان امكانية تفهم كيف امكن نشوء شيء معقد للغاية كالخلية الحية من الفلزات اللاعضوية على الارض البدائية كان حقا بعيدا عن المنال •

في عـام ١٩٥١ قـامت مجموعـة من بركلي برآسـة ملفن كالفن[٩]

(Melvin Calvin) بمحاولة لاختزال ثاني اوكسيد الكربون باستعمال جهاز السيكلوترون (cyclotron)، وهو جهاز استنبط لتسريع الجسيمات الذرية لدراسة نواة الذرة . كانت هذه تجربة يتم فيها افتعال او تقليد آثارالاشعاع من قشرة الارض على مكونات الارض البدائية لضرب المثال على النشأة اللاحيوية للمواد العضوية . وعند قصف خليط من ثاني أوكسيد الكربون في الماء مع قدر محفز من ملح الحديد الثنائي التكافؤ بأيونات الهليوم بقوة اربعين مليون الكتروفولت (40meV) من السيكلوترون قطر (٦٠) بوصة، كانت الكيميائيات الناتجة تحويلا بنسبة عشر بالمائة (١ر٠٪) الى الفورمالديهايد . اثبتت التجربة على حصول بعض الاختزال . غير ان النتائج كانت غير مقنعة لدرجة ان الهوة بين الارض اللاعضوية والبروتينات بقيت واسعة ومكئبة.

بعد عامين من ذلك ، في أيار من عام ١٩٥٣، قام ستانلي ميلر[١٠] بنشر نتائج تجربته بالتفريغ الكهربائي. وخلال سنة اعلن فريدريك سانجر (Frederick Sanger) عن البنية البدائية للانسولين ، وهو أول بروتين يتم التثبت من سياق حوامضه الامينية مطلقا. وفي حوالي نفس الفترة قام جيمزواطسون وفرانسيس كريك[١١] (James Watson and Francis Crick) بالبرهنة على ان الاساس الكيميائي لطبيعة الحياة التكاثرية او التناسلية كان حامض النوويك المزدوج اللولبية.

اتبع ميلر تجربته الاولى بتنويعات حول تركيبة خليط الغاز وبتحليل تفصيلي للمواد الناتجة عن التفاعل[١٢]. كان قدر كبير من الناتج مادة قارية غامضة ، وكان غلايسين (glycine) الحامض الاميني المنتج بأكبر قدر (١ر٢ بالمائة) مبينا على الكاربون . ومن بين القائمة الطويلة للمنتوجات المتولدة عن التفاعل ، كانت أربع منها فقط حوامض أمينية تقع في البروتينات.

Table 17.1. Yields from sparking a mixture of CH_4, NH_4, H_2O and H_2.

Compound	Yield (pM)	Yield %
Glycine	360	2.1
Glycolic acid	560	1.9
Sarcosine	50	0.25
Alanine	340	1.7
Lactic acid	310	1.6
N-Methyl alanine	10	0.07
a-Amino-n-butyric acid	50	0.34
a-Aminoisobutyric acid	1	0.007
a-Hydroxybutyric acid	50	0.37
B-Alanine	150	0.76
Succinic acid	40	0.27
Aspartic acid	4	0.024
Glumatic acid	6	0.051
Iminodiacetic	55	0.37
Iminoaceticpropionic acid	15	0.13
Formic acid	2,330	4.0
Acetic acid	150	0.51
Propionic acid	130	0.66
Urea	20	0.034
N-Methyl urea	15	0.051

Note: 59 moles (710) of carbon were added as CH_4. The percent yields are based on carbon.

Source: Stanley L. Miller and Lesile E. Orgel, The origins of Life on the Earth (Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1974), p. 85.

الجدول ١٧/١ ـ حصائل من خليط شرارة من CH_4, NH_4, H_2O, H_2 ملاحظة ·
اضيفت ٥٩ مولة (٧١٠) من الكربون بمثابة CH_4 · والنسب
المئوية للحصائل مبنية على الكربون.
على الارض ، ص ٤٥.
المصدر : ستانلي ايل ميلر وليزلي ئي اورجيل في: اصول الحياة

قام ميلر بدراسة آليات تجربة التفريغ الكهربائي واكتشف أن سيانيد الهيدروجين (HCN) والالديهايد (aldehydes) كانت المتوسطات (intermediates) النشيطة التي تكونت في التفاعل • فاستنتج من هذا ان المنتوجات كانت قد اصطنعت بفعل تفاعل ستريكر (strecker reaction) وهو اقـدم الاسـاليب المعروفة لتمثيل الحوامض الامينية • ولاختبار هذه الفرضية قام باختبار خليط من سيانيد الهيدروجين والالديهايد والهيدروجين والامونيا بأغلائها في الماء لمدة اسبوع واحد • تم الحصول على منتوجات مماثلة لتلك التي تكونـت بتجربة الشرارة أو التفريغ الكهربائي، وذلك بمقادير لا يستهان بها ، مؤيـدة آراءه عن الآلية•

كان قد تواجد عدد من مصادر الطاقة على الارض البدائية تمكنت من الاسهام في تمثيل المركبات العضوية • ومن بين الاكثر أهمية من هذه كان الضوء ما فوق البنفسجي من الشمس ، والتفريغات الكهربائية في الجو ، والنشاط الاشعاعي في التربة ، والطاقة الحرارية وبين هذه كان الاشعـاع ما فوق البنفسجي من ضوء الشمس المصدر الاكبر الى حد بعيد•

واليوم تقوم الطبقة الاوزونية بحجب كل اشعاع يقع دون كثافة (٣١٥) نانومتر • لكن الدفق الشمسي كان ينصب على الارض البدائية بشدة عنيفة ويؤثر بقوة على الجو البدائي• لما كان امتصاص الميثان يمتـد الى (١٤٥) نانومترا ، والماء الى (١٦٥) نانومترا ، والامونيا (٢٢٠) نانومترا، فان التفكيك الضوئي لهذه الجزيئات كان ليحصل بهذه الموجات القصيرة للاشعاع ما فوق البنفسجي، لخلق جذر او جذريات (radicals) كيميائية شديدة التفاعل • من المؤسف، توجد عوائق تكنيكية تحول دون استخدام الضوء ما فوق البنفسجي في المختبر لافتعال تمثيل المركبات العضوية في الجو البدائي، ولم تجر غير بعض التجارب بأطوال الموج المتوفرة فقط[١٣]•

Table 17.2. Boiling of H_2, NH_3, HCN, HCHO, CH_3CHO, C_2H_5CHO and H_2O for one week.

Reaction product	Yield	
	Moles $\times 10_5$	Percent
Glycine	98	16
Alanine	129	35
a-Aminobutyric acid	27	23
Glycolic acid	72	12
Lactic acid	42	12
a-Hydroxybutyric acid	15	13
Iminodiacetic acid	56	18
Iminoaceticpropionic acid	45	

الجدول ٢/١٧ ـ تغلية

H_2O, C_2H_3CHO, CH_3CHO, HCHO, HCN, NH_3, H_2

لمدة اسبوع واحد.

كان فيليب ابلسون[١٤] (Philip Abelson) من معهـد كارنجي بواشنطن أول من حقق امكانية تمثيل الحوامض الامينية بالتفاعلات الكيميائوضوئية. عندما قام بتعريض محلول فورمات الامونيوم وهيـدروكسيـد الامونيوم وسيانيد الصوديوم وكبريتات الحديد الثنائي التكافؤ لاشعاع بموجة طولها (٢٥٤) نانومترا ، حصل على الغليسيينونتريل (glycinonitrile) الذي تحلمأ الى غلايسين. قام آخرون باجراء التجارب بأستعمال خلائط غازية مع اطوال موج ما فوق البنفسجي متعددة اسفرت عن تكون حوامض امينية أخرى[١٥]، وتم تشخيص الغلايسين ، والألاتين، واللوسين ، كمنتوجات من تسليط الاشعاع على الميثان والامونيا والماء وأول اوكسيد الكـربون ، في ما بين (١٤٥) و(١٨٠) نانومترا من الاشعاع[١٦]. وكانت الحـوامض الامينية المتكونـة بفعل الضوء ما فوق البنفسجي في العموم هي تلك المستحصلة من تجـارب التفريغ الكهربائي.

Table 17.3. Present sources of energy averaged over the earth.

Source	Energy (Calories/cm²/year)
Total radiation from the sun	260,000
Ultraviolet light	
<300 nm	3,400
<250 nm	563
<200 nm	41
<150 nm	1.7
Electric discharges	4
Cosmic rays	0.0015
Radioactivity (to 1.0 km depth)	0.8
;Volcanoes	0.13
Shock waves	1.1
Solar wind	0.2

Source: S.L. Miller, H.C. Urey, and J. Oró, Origin of organic compounds on the primitive earth and in meteorites, J. Mol. Evol. 0, 59-72 (1976).

المصدر : اس ايل ميلر وايج سي يوري وجيه اورو . مصدر المركبات العضوية في الارض البدائية وفي النيازك، مجلة النشوء الجزيئي ٩، ص٥٩ــ ٧٢ (١٩٧٦).

رغم ان الضوء ما فوق البنفسجي لربما كان مصدر الطاقة السائد لتمثيل المركبات العضوية ما قبل البيولوجية ، كان أغلبه بموجات طويلة لا تتفاعل مع الغازات المستعملة لافتعال الجو البدائي الا أن كارل ساغان وبيشون خاريه (Carl Sagan and Bishun Khare) لاحظا ان الهيدروجين ، والميثان ، والامونيا ، والماء، والايثان ، وربما ايضا أول اوكسيد الكربون والنيتروجين ، جميعها كانت شفافة كليا للضوء ما فوق البنفسجي يربو على (٢٤٠) نانومترا ، لكن كبريتيد الهيدروجين له تسلسل أو استمراريةامتصاص

واسعة تبدأ في حوالي (٢٧٠) نانومترا • اذن كان بامكان كبريتيد الهيدروجين أن يعمل كمتقبل فوتون ابتدائي لالتقاف طاقة ضوء ما فوق البنفسجي الطويل الموجة وابتدار تفاعلات كيميائية • وجد ساغان وخاريه[١٧] في تجارب الافتعال أن تواجد كبريتيد الهيدروجين مع الغازات المعرضة للضوء ما فوق البنفسجي بقوة (٢٥٤) نانومترا انتج حوامضا امينية ، واثبتا ان غزارة الضوء ما فوق البنفسجي في منطقة الموج الاطول من الطيف لربما كانت أحد المصادر الرئيسة للطاقة لتمثيل المركبات ما قبل الحيوية•

وبوسع الاشعاع المؤاين ايضا أن يعمل كمصدر للطاقة • فقد تكونت حوامض امينية[١٨] عند تعريض خليط من الغازات تفتعل الجو البدائي الى الاشعة السينية وأشعة غاماء غير ان مصدر الطاقة هذا لا يعتبر مساهما ذا أهمية في تمثيل المركبات ما قبل الحيوية ، لأن أغلب التآين كان ليحصل في الصخور السيليكاتية وليس في الجو•

ظهر تشكيك في أهمية الانشطة البركانية في تمثيل الحوامض الامينية• عند تسخين خليط من الغازات يفتعل الجو البدائي لدرجة حرارة الف ومائتين (١٢٠٠°) مئوية بأستمرار لا تتكون ايةمركبات عضوية ويقتصر الناتج على توازن الغازات فقط • غير انه اذا تم تمرير الغازات ببطء فوق لابا ذائبة أو منصهرة ومن ثم اطفاؤها بسرعة ، يجري تمثيل تنويعة من الهيدروكاربونات• وبهذه الطريقة يجري تكوين الفنيل استيلين (phenylacetylene) ، وهو الطليعة الى الفنيل الانين والتيروسين[١٩]، والاندول indole وهو طليعة التربتوفان[٢٠] (tryptophan) • هذا التفاعل يقدم طريقة كان يمكن بها حصول الحوامض الامينية العطرية (aromatic amino acids) في ما قبل البيولوجية • لكن لربما ان هذه الحوامض الامينية لم تكن قد أصبحت جزءا من المنظومات البيولوجية الى أن تم تمثيلها بيوكيميائياء

ومهما بدا غريبا ، فانه من ضمن المعقول ان تكون الموجات الصدمية من المصادر الرئيسة لانتاج الحوامض الامينية • لقد قام آي بار-نان[٢١] (A. Bar-Nun) وزملاؤه بضرب امثلة ايضاحية بغازات تفتعل جوا بدائيا بان في انبوبة صدم (shock tube) ترتفع درجة حرارة مقدمة الصدمة فيها الى ما بين الف والفي (١٠٠٠-٢٠٠٠°) درجة كلفين (Kelvin) ضمن (١٠ ١ ثانية)، مع الاطفاء السريع ، يحصل تحويل عال للغازات الى حوامض امينية• احتسب الخبيران دفق الصدمة السنوي من نيازك المذنبات والنيازك المجهرية والرعد ووجدا انه يبلغ بالتقريب سعرة (calorie) واحد بالسنتمتر المربع • وعلى نقيض هذا كانت الطاقة من ضوء الشمس ما فوق البنفسجي دون كثافة (٣٠٠) نانومتر لتبلغ حوالي الف (١٠٠٠) سعرة بالسنتمتر الواحد • لكن موجات الصدمة اكثر كفاءة بمليون مرة من الضوء ما فوق البنفسجي لانتاج الحوامض الامينية • وبهذا الصدد ، كان سيمكن توليد حوامض امينية بأمواج الصدمة (١٠٠٠) مرة أكثر مما بأغزر مصدر للطاقة ، وهو الضوء ما فوق البنفسجي•

توحي هذه التجارب المختلفة الى وسط كان يجري فيه انتاج المركبات العضوية أو طلائعها في جو بدائي فتمطر هاطلة لتتراكم في البحار الشابة ، وباغتسال العديد من المركبات المتفاعلة الى منخفضات أو احواض ضامة حصلت التفاعلات لتوليد المزيد من المواد الاضافية • كانت هذه صورة جديدة ومثيرة للكيمياء التي حصلت على الارض قبل أن تتواجد الحياة عليها • ولم تعد نشأة الحياة ينظر اليها بمنطوق مواد لا عضوية غريبة في وسط جيولوجي يفضي الى قيام بنية لا بيولوجية تحتم عليها عبور تطور لا محدود قبل امكان تكون خلية حية، فان المركبات ما قبل الحيوية المطلوبة لتشييد منظومة بيولوجية كانت الحوامض الامينية المألوفة لدى كل دارس للبيوكيمياء•

بعد انقضاء ثلاثة عقود من السنين ، من الممكن وضع تجربة ميلر في منظور أفضل بالنسبة الى نشأة الحيـاة • كان جو يوري (Urey) المتألف من الميثان والامونيا يعتبر الجو البدائي للارض اكتسبته عندما تكونت المنظومة الشمسية • لكن يوجد فيض من الشواهد للدلالة على ان الجو الاصلي كان قد ضاع وتعوض من الغازات المنبثقة من باطن الارض • اذن يبقى السؤال بأي حال اختلف الجو الثاني عن الاول؟

لقد بينت الدراسات ان تركيبة الغازات البركانية تتألف بوجه رئيس من الماء وثاني اوكسيد الكربون مع قدر كبير من الهيدروجين[٢٢]• يصدر الكلوريد ، بصفته المادة الاكثر غزارة ، بمثابة الحامض ، مثلما يفعل الكبريت، والنيتروجين موجود بوجه رئيس كالعنصر • لم يمكن ان تتواجد الامونيا في الجو بأي مقادير ملموسة • وقد اشار ابلسون[٢٣] ان كمية من الامونيا تعادل النيتروجين الجوي الحالي كانت ستتجرد بفعل الاشعاع ما فوق البنفسجي في حوالي (٣٠) الف سنة • وعلى نفس الغرار كانت اذابتها العالية في لماء لتخلق توازنا كله جوهريا بحالة السائل في البحار • وعليه، فأن جو الارض البدائية تألف من فضلات أو ترسبات الغازات البركانية بعد تعادلها بين نظام الجو-البحر • ويحاجج ابلسون انه كان سيتألف من تركيبة قوامها بوجـه رئيس اول اوكسيد الكاربون وثاني اوكسيد الكاربون والنيتروجين والهيدروجين•

تتيح الطبيعة الجوهرية لتجربة ميلر ليتألف جو الغازات الطلائع من أي تركيبة كانت على ما يظهر شريطة ان تكون اختزالية وان تتضمن مكوناتها الكاربون والهيدروجين والاوكسجين والنيتروجين • مع ذلك، لربما كانت كيمياء الجو من الغاز المنبثقة مماثلة لتلك في خليط الميثان والامونيا انما ليس نفسها • عند تعريض خليط من أول اوكسيد الكاربون والنيتروجين

والهيدروجين الى تفريغ كهربائي يأتي سيانيد الهيدروجين كالناتج الرئيس مع لا شيء آخر تقريبا سوى دون اوكسيد الكربون (O=C=C=C=O carbon suboxide ، وثاني اوكسيد الكربون والماء[٢٤].

لا يستطيع المرء تحقيق مسلسل الديهايدات المتوسط الى الحوامض الامينية

بطريقة تفاعل ستريكر . بالنتيجة تصبح الكيمياء ما قبل الحيوية ليس «حساءا» كما تصور ناشئا من جو من الميثان والامونيا ، وانما من سيانيد الهيدروجين (HCN)

يتعرض سيانيد الهيدروجين لتفاعلين اثنين مهمين . فهو يتحلمأ الى هيدروكسيد الامونيوم مع حامض النمليك، وفي سوائل قلوية قليلا (alkaline) يتكثف مع ذاته ليدر تنويعة من المركبات ذات اهتمام بيولوجي. والناتج الرئيس من تكثيف HCN هو التترامر (tetramer) ، وحلمأة التترامر تفضي

الى الغلايسين ، وقد أعلن جيه اورو (J. Oro)وأس كامات (S. Kamat) عن تحصيل مقادير صغيرة من الالانين وحامض الاسبرتيك عند تسخين سوائل بمقدار (٢ر٢ مولار) من السيانيد في درجة حرارة خمسة وسبعين (٧٥°) مئوية لمدة خمسة وعشرين (٢٥) يوما لكن هذا تركيز عال. فليتسنى لتكون التترامر ليتجاوز تفاعل الحلمأة يلزم أن يكون تركيز سيانيد الهيدروجين لا أكثر من حوالي عشر (او.) المولار. وهذا تركيز غير حقيقي لسيانيد الهيدروجين في الاحوال الطبيعية، انما كان ممكنا ان يكون اعتياديا لهيدروكسيد الامونيوم من حلمأة سيانيد الامونيوم ، الذي كان يمكن تركيزه فيما بعد بالتبخير الجزئي للمحلول.

من الممكن أن يكون قد حصل تضاد لعامل التركيز هذا بفعل الضوء ما فوق البنفسجي . فقد وجد ابلسون ان سوائل او محاليلا من ٠٠٢ر٠ـ

١٠ر٠ مولار) من سيانيد الهيدروجين في بدس (PH) (٨—٩) تعطي عند تعريضها الى ضوء بكثافة (٢٥٤) نانومترا خليطا يتحلمأ الى غلايسين،وسيرين، وحامض الاسبرتيك ، وحامض الغلوتاميك٠

انطلقت المختبرات المختلفة في أعقاب تجربة ميلر تتابع البحوث بهمة بالغة بغية التدليل على امكانية التمثيل اللاحيوي لاكبر عدد ممكن من الحوامض الامينية البيولوجية العشرين (٢٠)٠ بالنتيجة تم الاعلان عن انتاج جميعها في التجارب الافتعالية باستثناء اثنين منها هما الهستدين (histidine) والأرجنين[٢٦] (argenine) ٠ اضافة الى هذه انتجت تجربة ميلر العديد من الحوامض الامينية التي لا تستخدمها البروتينات٠

يجوز ان تكون الحياة قد بدأت بأقل من هذا العدد بكثير٠ فمن أحد الاوجه، أن الكيمياء ما قبل البيولوجية المبنية على سيانيد الهيدروجين اكثر بساطة ولربما اكثر انطباقا بالصدفة الظرفية على نشأة الحياة ٠ وعندما نتأمل عملية التمثيل الحيوي ندهش حقا من ضآلة عدد لبنات البناء الاساسية الموجود في الواقع[٢٧]٠ بوسع البيروفات، والخلات، والكاربونات، في بعض المتعضيات المجهرية ان تقدم كل الكاربون المطلوب للتمثيل:

لوسين	leucine	سيرين	serine
ايسولوسين	isoleucine	غلايسين	glycine
حامض الغلوتاميك	glutamic acid	مثيونين	methionine
لايسين	lysine	سيستين	cysteine
حامض الاسبرتيك	aspartic acid	الانين	alanine
ثريونين	threonine	فالين	valine
ارجنين	argenine	برولين	proline

يمكن أن ينشأ البيروفات والخلات من تجريد السيرين ، ويمكن الحصول على الخلات من البيروفات ومن حامض الملونيك (malonic acid) ثم ان الفريدوكسين، الذي يعتقد انه من أقدم البروتينات في النشأة ، قد تم تكوينه على ما يظهر من سياق متكرر للالانين والسيرين وحامض الاسبرتيك والغلايسين، وهذه كلها حوامض امينية تنتج بأقصى السرعة والسهولة من سيانيد الهيدروجين.

اوضحت تجربة ميلر سهولة تكون لبنات البناء الحياتية واحتمالية تواجدها ما قبل الحياتي، وقد توفر عدد من مصادر الطاقة على الارض البدائية لانتاج المركبات البيولوجية. فكل ما مست اليه الحاجة كان خليطا من الغازات المختزلة ، وعلى نقيض هذا، لو كان الجو يتضمن الاوكسجين بالاصل ، والذي ظل الاعتقاد سائدا بضرورته لنشأة الحياة فترة طويله ، لكانت الحياة لم تظهر الى الوجود مطلقا. لأن الاوكسجين كان سيطفيء أي تفاعل يظهر قبل تمكنه من صنع اللبنات البنائية.

أبان ابلسون ان جوا يتضمن مقادير كبيرة من الميثان كان سيؤدي الى انتاج رواسب كبرى من المواد العضوية المنافرة للماء، ألا انه لم يتم العثور على مقادير كبيرة فوق العادة من الكاربون أو المواد العضوية في الصخور السابقة لتاريخ أقدم المتعضيات . غير انه توجد مؤشرات الى عدد كبير من المركبات العضوية التي على ما يظهر تم تمثيلها في جو من الميثان والامونيا ، ليس في الارض البدائية وانما في السديم الغازي قبل تكون الارض.

لقد تم العثور على غازات هيدروكاربونية بالقرب من بحيرة هيورون في كندا وبمثابة قرارة اوختنسك في الاتحاد السوفياتي في تشكيلات الصخور البلورية التي لا صلة لها بالصخور الرسوبية[٢٨]. اما المكامن العظمى للبترول فهي بالحتم من اصل بيولوجي، انما عثر على لقايا في الاتحاد السوفيتي تشير

الى ان بعض قرارات البترول تنتسب الى اشتقاق لا حيوي تدل الانبثاقات الغازية في هضبة خيبنسك في شبه جزيرة كولا الى تواجد الميثان وهيدروكاربونات اثقل تنتمي على ما يظهر الى اصل صهاري، ورغم ان هذه تعد بالمئات فنادرا ما تتضمن هذ هالمصادر اية اهمية تجارية[٢٩]. يبدو ان هذه المادة العضوية ليست من بقايا «الحساء البدائي» وانما ما تزال باقية منذ زمن يمتد حتى الى ما قبل تواجد الارض . وهذه النظرية تنشأ من اكتشاف مواد عضوية في النيازك الساقطة ومدعمة بها.

الفصل الثامن عشر ـ النووسيد والنووتيد والأتب

عندما اعلن ميلر عن تجربته بالتفريغ الكهربائي في عام ١٩٥٣ كانت كيمياء البروتين فرع البيوكيمياء الرئيسي المتقدم، وكان فرع البيولوجيا الجزيئية لا يزال حديث العهد. وكنتيجة لهذا الاهتمام بالبروتينات وللسهولة النسبية التي امكن بها قياس مقادير دقيقة من الحوامض الامينية ، تركزت الدراسات حول نشأة الحياة ابتدائيا على الحوامض الامينية . لكن البروتينات ليست، ولم يمكن في أي زمن مضى ان تكون، حياة بحد ذاتها. ان التكاثر البيولوجي في جوهره هو عبارة عن تناسخ جزيئي، وهو دور تقوم به حوامض النوويك دون غيرها مطلقا. اين اذن كانت النووتيدات، لبنات البناء لحوامض النوويك؟

ان النووتيدات مركبة من ثلاثة اصناف من الكيميائيات، هي قاعدة هيتروسيكلية وسكر وحامض الفوسفوريك، وهذه القواعد هي البيورينات الادنين والغوانين ، والبريميدنات السيستوسين، واليوراسيل ، والثايمدين، والسكر هو اما ريبوز او دي اوكسي ريبوز (deoxyribose = ريبوز ناقص الاوكسجين). قبل التطرق الى تكون لبنات بناء الدنأ يتوجب علينا أن نبحث التواجد ما قبل الحيوي لهذه المكونات البنيوية الثلاثة.

اوضحت تجربة ميلر الجسر الرابط بين المقومات الغازية لجو بدائي الى المواد العضوية للمنظومات الحية . على ما يظهر كانت عملية تثبيت ثاني اوكسيد الكاربون والنيتروجين حدثا شائع الحصول بفعل مصادر الطاقة الطبيعية في تفاعل كان الناتج المتوسط او الوسيط فيه سيانيد الهيدروجين . فاذا امعنا النظر في الدور المكين لسيانيد الهيدروجين بدلا من تركيز اهتمامنا في الحوامض الامينية ، فان المشهد سينتقل الى مجال اوسع.

يتحلماً سيانيد الهيدروجين الى هيدروكسيد الامونيوم وحامض النمليك، انما مزيدا من سيانيد الهيدروجين مع هيدروكسيد الامونيوم يفضي الى سيانيد الامونيوم • كان يمكن أن يؤدي اغتسال السمادات البدائية في بحيرات واحواض او منخفضات ضحلة مع تبخرات دورية حتى اليبوس او ما يدانيه الى تراكم مقادير كبيرة من هذه المادة الكيميائية وتركزها على ارض حديثة العهد•

في عام ١٩٦٠ قام خوان اورو[١] (Juan Oro) من جامعة هيوستن بتسخين سائل مركز من سيانيد الامونيوم لمدة يوم واحد في درجة حرارة قدرها تسعون (٩٠°)مئوية•وعندما قام بتحليل العينة فيما بعدبحثاعن منتوجات لها أهمية بيولوجية محتملة ، اكتشف انه كان قد قام بتمثيل الادنين ، القاعدة الهيتروسيكلية الرئيسة في حوامض النوويك والعديد من الانزيمات المساعدة الهامة•

ظهر ان ٤ــامينوايميدازول (4-aminoimidazole) (AICA) وفورماميدين (formamidine) كانا الوسيطين المحتملين • وفي تجربة تعقيبية قام اورو وكيمبال[٢] (Kimball) بتسخين سائل (AICA) الى درجات حرارة تتراوح ما بين مائة ومائة واربعين (١٠٠ــ١٤٠°) مئوية وحصلا على بيورينتين اثنتين اخريين ، غوانين وزانثين (xanthine)،كل منهما في حصيلة بنسبة قدرها واحد ونصف بالمائة (٥ر١٪) • وفي تجربة اخرى مع اس اس كامات[٣] (S.S. Kamat افضى تسخين سيانيد الهيدروجين مضافا الى ٣ عياري هيدروكسيد الامونيوم في درجة حرارة سبعين (٧٠°) مئوية لمدة خمسة وعشرين (٢٥) يوما الى انتاج الغلايسين والالانين وحامض الأسبرتيك بين المنتوجات الاخرى• وتم تأييد هذا التمثيل للادنين والحوامض الامينة من سيانيد الامونيوم من قبل سي (c.u. Lowe) وغيره[٤] الذين اعلنوا عن تحصيل خمسة وسبعين (٧٥)

منتوجا من النهدرين موجب (ninhydrin-positive) من هذا التفاعل • (راجع البياني التالي)•

HCN + NH_3 → $H_2N-CH=NH$
Formamidine فورماميدين

HCN $\xrightarrow{^-CN}$ $HC(=N^-)-CN$ $\xrightarrow{H^+}$ $HC(=NH)-CN$ $\xrightarrow{HCN}$ $NC-CH(NH_2)-CN$

HCN Tetramer

$H_2N-CH=NH$

AICA

HCN or $H_2N-CH=NH$

HCN or $H_2N-CH=NH$

ادنين
Adenine

غوانين
Guanine

زانثين
Xanthine

ربما كانت بعض البيورينات قد بدأت تتكون على الارض البدائية حتى قبل تبخر سيانيد الامونيا المركز • لقـد ابان ليزلي أورجل (Lesile Orgel) وجماعته[٥] من معهد صولك فيلاجولا بكاليفورنيا انالضوء ما فوقالبنفسجي

يسفر عن استحالة تترامر سيانيد الهيدروجين الى مونوامينو مالونتريل (monoaminomalonitrile) • بامكان هذا الوسيط المهم ان يتفاعل مع سيانيد الهيدروجين اضافي ليعطي الادنين، او بامكانه التحلمؤ الى AICA الذي يمكن ان يتكاثف مع السيانيد ، او الفورماميدين ، او السيانوجين، لانتاج الغوانين والزانثين•

اتخذ دور سيانيد الهيدروجين اهمية مضافة في عام ١٩٧٧ عندما قام جيه‌پي‌فيريس (J.P. Ferris) ، وجيه سي جوشي (Joshi) وجيه جي لوليس[٦] (J.G. Lawless) بعزل البريميدينات من تجربة حلمأة احدالسيانيد (a cyanide) • جرى تعديل سائل من سيانيد الهيدروجين بقدر (١ر٠)مولار الى سّ يدّ (PH) (٢ر٩) مع هيدروكسيد الامونيوم وترك في درجة حرارة لما بين اربعة الى ستة (٤ـ٦) شهور • وعندما اجريت آنذاك حلمأة وتحليل خليط التفاعل كانت الحصيلة ٤،٥ـدايهيدروكسي بيريميدين (4,5-dihydroxyprimidine) و٥ ـ هيدروكسي يوراسيل (5-hydroxyuracil)

اعطت صورة سيانيد الامونيوم واوليغومرات (oligomers) سيانيد الهيدروجين كطلائع البيورينات والبريميدينات والحوامض الامينية وحدة مرضية للكيمياء ما قبل البيولوجية• فبدلا من أن تتكون لبنات البناء البروتينية والحوامض نوويكية على حدة والتقائها بظروف الصدفة ، كان كلاهما قدتكون في نفس المكان ومن نفس المواد•

تم تحقيق تمثيل آخر للبريميدنات في تجربة افتعالية من قبل مجموعة من معهد صولك[٧] باستعمال السيانواستيلين وهو الوسيط الثاني الاكثر انتشارا المنتج في تجارب التفريغ الكهربائي• أعلن‌سانجيز (Sanchez) وآخرون ان عند تسخين تركيز من (١ر٠ مولار) من السيانواستيلين في سائل من

١ مولار) من سيانيد البوتاسيوم بدرجة حرارة مائة (١٠٠°) مئوية لمدة يوم واحد أعطى حصيلة قدرها خمسة بالمائة (٥٪) من السيتوسين، وأعطى التفاعل بدرجة حرارة الغرفة لمدة سبعة (٧) ايام حصيلة قدرهـا واحد بالمائة (١٪). ومتى ما تكون السيتوسين تبعه اليوراسيل بحلمأة سهلة بسيطـة . (راجع معادلة التفاعل التالية).

Cyanoacetylene

Cytosine

Uracil

Monoaminomalonitrile

HC≡C–C≡N $\xrightarrow{NH_3}$ Monoaminomalonitrile $\xrightarrow{KCN}$ Cytosine $\xrightarrow{H_2O}$ Uracil

سيانواستيلين Cyanoacetylene — Monoaminomalonitrile — سيتوسين Cytosine — Uracil

بكل وضوح كان من شأن تكون سيانيد الهيدروجين والسيانواستيلين من غازات الارض البدائية اطلاق سيانيد الامونيوم واوليغومرات الهيدروجين، وفي الاخير الحوامض الامينية ، والبيورينات ، والبيريميدات اللازمة للبنات البنائية المهمة بيولوجيـا للبروتينات وحوامض النوويك. أمـا القواعـد الهتروسيكلية فيلزم تكثيفها مع سكر وحامض فوسفويك لصنع النووتيدات لبلمرة حوامض النوويك.

للوهلة الاولى كان التمثيل ما قبل الحيوي للسكاكر ليبدو من اسهـل التجارب الافتعالية للاستنباط . الفورمالديهايد هو أحد المواد العادية المكونة في التجارب لما قبل الحياتية، ومنذ عام ١٨٦١ كان بيوترلو (Buterlow) قداوضح ان الفورمالديهايد يتعرض للتكثف في السوائل القلوية لانتاج السكاكر .وبعد تكوين الغليكوالديهايد (glycoaldehyde) تتجه عملية التمثيـل الى السكاكر الاعلى، كالتتـروز والبتوز والهكسـوز، بما فيهـا الريبوز والغلـوكـوز

سداسوز، = hexose خماسوز، = pentose رباعوز، = tetrose

(glucose, ribose) .

مهما كان تكثف الفورمالديهايد يبدو محتملا لتمثيل السكاكر في ما قبل الحياة، فانه توجد اعتراضات كيميائية خطيرة . ان التفاعل يقع فقط في تركيزات أعظم من (٠٫٠١) مولور ، مع ان السكاكر المونومرية غير مستقره

في الماء، ، لاسيما اذا كان (PH) دون (٧) بكثير . ومشكلة أخرى هي ان السكاكر تتفاعل مع الحوامض الامينية بتفاعل ميلارد (Maillard) المتقتم (browning) لتشكيل، منتوجات لابيولوجية . ولما كان يلزم الافتراض ان الترتيبة الابسط لنشأة الحياة هي حيث كانت جميع المكونات البادئة قد تكونت وتواجدت معا بنفس الوقت. فانه يتوجب الاخذ في الاعتبار التفاعلات التي كانت ستولد منتوجات خاملة . يبدو ان هذا يكفي لاستثناء السكاكر ، انما في الواقع يوجد سكر، فقط حيوي الضرورة للتجميع الابتدائي لخلية وظيفية ، وهما الريبوز والدي اوكسي ريبوز، المكونان الجوهريان للنووتيدات. بهذا الصفة تزول المشاكل الكيميائية مع السكاكر ، فأن الريبوز المربوط بشكل

يكف عن امتلاكه اللاستقرارية الفطرية للسكاكر.

قام اورو وأي سي كوكس[٨] (A.C. COX) بتحري أحوال ملائمة حيث كان يمكن أن يتكون الريبوز والدي اوكسي ريبوز على الارض البدائية. ووجدا أن المحاليل المائية للاسيتالديهايد (CH_3CHO) مع الفورمالديهايد ($HCHO$) ، او الغليسرالديهايد (CH_2 OH-CHOH-CHO) محفزة بأوكسيد الكلسيوم في درجة حرارة خمسين (٥٠°) مئوية اعطت حصيلة قدرها ثلاثة بالمائة (٣٪) من الدي اوكسي ريبوز، وثبت ان هيدروكسيد الامونيوم محفز اكثر فعالية.

ان توليد الفورمالديهايد والاستالديهايد بالتفاعلات على الجو البدائي كان سيستلزم تواجد غازات الهيدروكاربون، ولما كان تواجد الهيدروكاربونات في بعض الصخور النارية والنيازك يوحي الى تواجد ما قبل البيولوجي للميثان ونظائره، فانه يتوخى ما يدعو الى الاعتقاد ان طلائع الالديهايد والحوامض الدهنية كانت موجودة.

يتم ربط الادنين بالدي اوكسي ريبوز لتشكيل الدي اوكسي ادنوسين بسهولة، وعندما ترك المتفاعلان معاً في درجة حرارة الدي اوكسي ادنوسين تكون حاصل قدره واحد بالمائة (١٪) من الدي اوكسي ادنوسين[٩]. وبحضور الفوسفات ارتفع الحاصل الى خمسة بالمائة (٥٪)، وعندما جرى استخدام الضوء ما فوق البنفسجي مع السيانيد ازداد الحاصل الى سبعة بالمائة (٧٪). من المؤسف أن القواعد الاخرى لم تنتج نووتيداتها بهذا التفاعل ، انما كان بالامكان تكوين هذه بوسائل أخرى. على سبيل المثال ، يعمل خليط من املاح البحر كمحفز فعال لتكوين النوسيدات (nucleosides) عند تسخين البيورينات مع الريبوز، ويعطي حصائل تتراوح ما بين واحد ونصف واربعة نصف بالمائة[١٠] (٥ر١ــ٥ر٤٪).

ألا ان هذه الطريقة ليست ناجحة بالنسبة الى البريميدينات • رغم ان نووسيدات البريميدين لا تتكون من الاتحاد المباشر للقاعدة مع الريبوز، فانه من المعقول أن تكون قد نشأت اقل مباشرة• عند موازنة ريبوز-٥-فوسفات Ribose-5-phosphate مع الامونيا لتكوين الريبوسيلامين (ribosylamine) ومن ثم معالجته بنجاح بالسيانوجين والسيانواثيلين ، كان الناتج الرئيس حامض الالفاسيتديليك (a-cytidylic acid) • غير ان هذا الشكل البيولوجي هو ايسومر البيتا (B isomer)• ان ضوء الشمس، الذي تم ادخاله في معظم تجارب الافتعال، يلعب دورا حاسما هنا• عندما جرى تعريض حامض الفاسيتديليك للضوء ما فوق البنفسجي، تم تحويل ما يبلغ عشرة بالمائة (١٠٪) الى حامض بيتا ستيديليك، وهو الايسومر الذي تستخدمه المنظومات البيولوجية[١١]•

α -5'-Cytidylic acid β-5'-Cytidylic acid

للانتقال من النوسيد الى النووتيد يستلزم الفسفرة او ربط مجموعة من حامض الفوسفوريك بحصة السكر، هذه الخطوة شديدة الصلة بالمشكلة العمومية للتكوين ما قبل البيولوجي لمشتقات الفوسفات، ان المركب الذي عادة ينقل الطاقة الكيميائية في المنظومات البيولوجية هو الأتب، أي ثلاثي فوسفات الادنوسين، والطاقة من حلمأة رابط البيروفوسفات بتجريد الأتب الى أدب، ثنائي فوسفات الأدنوسين، هي التي تضرم التفاعل في عمليات التمثيل البيوكيميائية ، كانت البيروفوسفات جوهرية الضرورة منذ البداية ، والأت يملك الاستقرارية والتفاعلية اللتين تجعلانه في غاية الصلاحية للمهمة

الشكل ١/١٨ ـ بنية ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP اتب).

لما كانت حوامض النوويك هي بوليمرات من النووتيدات مرتبطة بواسطة المجموعة الفوسفاتية من مجموعات سكاكرها في ترابط اسهامي قوامه (3'-5'-linkage) ، فلابد انه تواجدت على الارض البدائية وسيلة

ما قبل بيولوجية ملكت القدرة على فسفرة النوسيدات، فأذا توفر ما يبرر تواجد جيولوجي لحامض الفوسفوريك ومشتقاته فانه لن تواجه اية صعوبة في اقامة التجربة الافتعالية • عند اذابة النوسيدات في حامض البولي فوسفوريك في درجة حرارة ما بين صفر الى ٢٢ (٠-٢٢°) مئوية ، نحصل على ناتج يتراوح ما بين (٢٥) الى (٤٥) بالمائة من المونوفوسفات[١٢]• لكن حصول حامض البولي فوسفوريك في الاحوال الجيولوجية مستبعد جدا ويتعذر معه اعتباره جوابا شافيا•

ان الصعوبة مع الفوسفور هي شدة عدم ذوبان املاحه الكلسيومية ، أي الاباتيت ، ولما كان الكلسيوم يفوق غزارة الفوسفور في البازلت بزهاءعشرين ضعفا (عشرة أضعاف في الغرانيت) فانه بالامكان ازالة الفوسفور من مياه البحر بكل فعالية، وذلك بترسيب املاح الكلسيوم • من جهة أخرى ان الفوسفور ليس عنصرا نادرا ويؤلف ما مقداره (٦ر٠) بالمائة من المحتوى الفلزي للصخور النارية[١٣]• وبالرغم من امكانية تكون الهايدروكسي اباتيت (hydroxyapatite) في ترسيب الفوسفور من المحاليل المائية النقية ، فأنه بيئة بحرية يترسب بصفة فلوروااباتيت الكاربونات (carbonate fluoroapatite) بالنتيجة ، يبقى تركيز الفوسفور في مياه البحر منخفضا للغاية بمستوى (٢ر٢) ميكرومولار•

المشكلة هي اذن ايجاد الظروف المتناسبة مع الارض البدائية امكن فيها توفر الفوسفور للاندماج في المركبات العضوية ، أي اقامة الامثلة الايضاحية لشكل كيميائي من هذا العنصر ملك المقدرة على اتيان التفاعلات التفسفرية• وقد تمكن ستانلي ميلر وپاريس[١٤] (M. Parris) من انتاج البيروفوسفات على سطح الهايدروكسي اباتيت بأملاح السيانات • وبما ان بيروفوسفات الكلسيوم مقاوم للذوبان مثلما هو الاباتيت ، فأن اية عملية تمثيل حصلت

كان سيترتب حصولها على السطح البلوري• وهـذا امر يمكن تصـوره ، ولكنه ليس مقنعا حقا، ويبدو ان شكلا آخر من الفوسفات له قابلية ذوبـان اكثر مع ظهور الخلية الوظيفية سيكون اكثر عقلانية•

طرح ألان شفارتس[١٥] (Alan Schwartz) من جامعة نيميجن (Nijmegen) بهولندة ، طريقة كان يمكن جعل الفوسفات بها قابلا للذوبان ومركزا ضمن مستوى وظيفي• ان حامض الاوكساليك (oxalic acid) عامل شديدالتشبيك (complexing) للكلسيوم • فاذا بلغ هذا الحامض، الذي كان ممكنا تكونه من تفسخ الغلايسين او حامض النمليك او بتحلمؤ السيانوجين ، تركيزاقدره (٠١ر٠) مولار في (س يد ٥) (PH5) بملامسة الاباتيـت ، فأنـه سيحـرر الفوسفات بقدر (٠٠٣ر٠) مولار ، وهذا مقدار كبير نسبيا من الفوسفـات في المحلول • يرى شفارتس انه كان بأمكان السيانوجين كغاز قابل للذوبان في الماء ومتواجد في الزمن ما قبل البيولوجي ان يوفر امدادا متواصلا مـن الاوكسالات (oxalate) في كل سطح صخرى معرض للتعرية ، وان مشتقات حامض الفوسفوريك كانت لتكون متوفرة من خلال هذه الوسيلة•

متى ما امكن التغلب على صعوبة اثبات التواجد الجيولوجي لامـلاح حامض الفوسفوريك، فانه توجد تفاعلات تفسفرية معلومات كان حصولها ممكنا • عند رفع درجة حرارة تسخين نووسيدة من (٥٠°) مئوية الى (١٦٠°) مئوية مع عدد من مركبات فوسفات الهيدروجين، يسفر هذا عن حصول المونونووتيد[١٦] (mononuteotide)• لكن تفسفرا اكثر فعالية يحصل مع اليوريا • فعند تسخين النووسيدات الى درجة حرارة (١٠٠°) مئوية في خليط يابس من اليوريا ، يتم تحويل فوسفـات هيدروجين الصوديـوم وكلوريد الامونيوم وبيكاربونات الامونيوم الى مشتقات فسفرة بمقادير تتجاوز تسعين بالمائة (٩٠٪)[١٧]•

لقد ظهرت اليوريا كناتج في أغلب التجارب الافتعالية للاحوال ما قبل

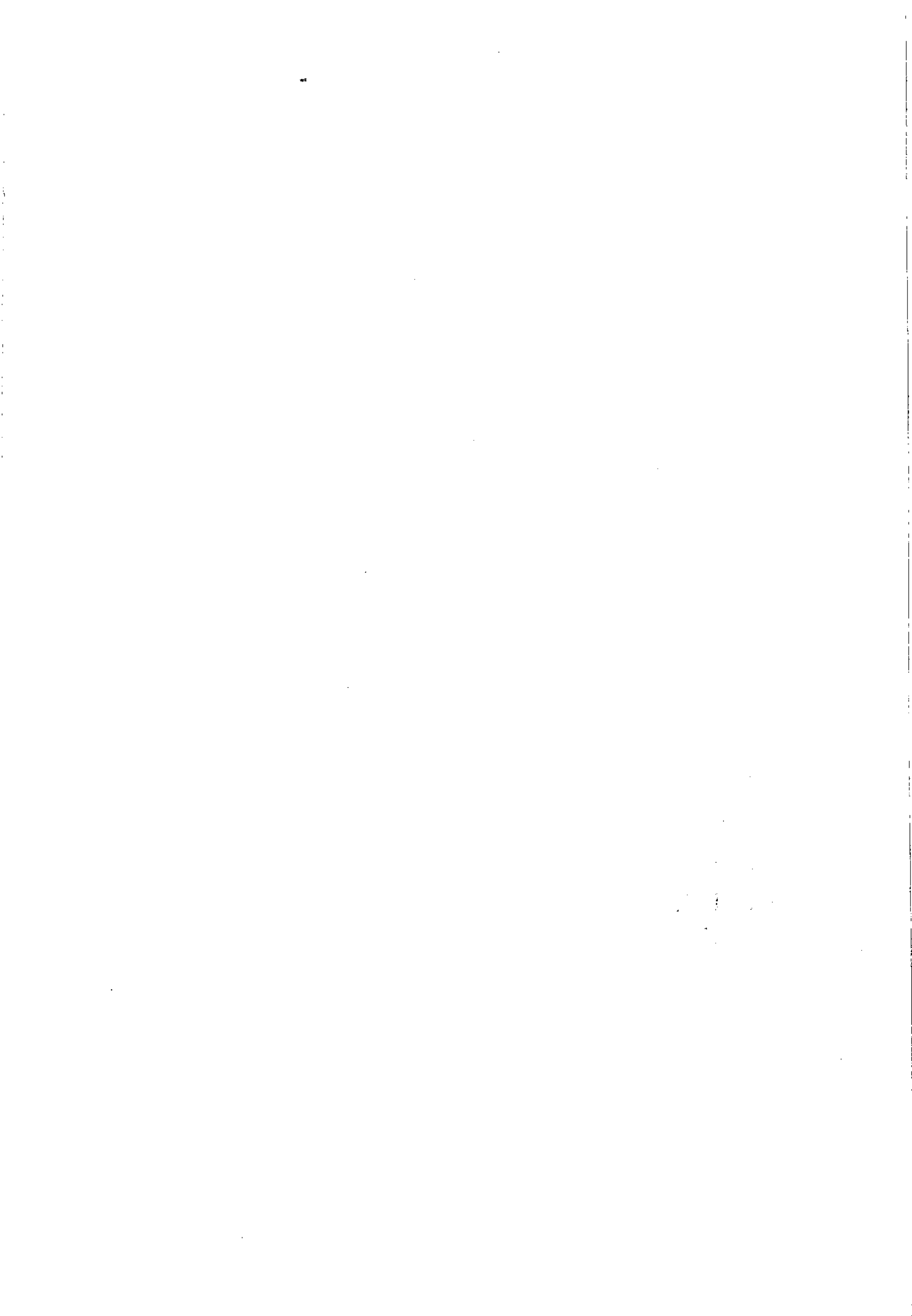
الحيوية وليس انها كانت منتشرة بكثرة على الارض البدائية ، ولابد انها كانت موجودة في كل سوائل سيانيد الامونيوم المكشوفة لأن الاشعـاع ما فوق البنفسجي يحفز تحويل سيانيد الامونيوم الى اليوريا. وعند اجراء المزيد من الدراسات على تفاعـلات التفسفر المحفزة باليوريـا اكتشف ايل اوستربرغ (L. Osterberg) وايـل اي اورجيـل (L. E. Orgel) وآر. لورمـان[18] (R. Lohrman) أن عندما تتجاوز الفوسفات النوسيدات في الخليط يؤدي ذلك الى تكوين اربطة البيروفوسفات . وقد اسفر التسخين لمدة اربعة ايـام بدرجة حرارة (100°) مئوية عن حصول ناتج قدره (15) بالمائة من ثـلاثي فوسفات الثايمدين.

اذن يبدو ان ثلاثي فوسفات النوسيد ظهرت في الزمن ما قبل البيولوجي فـي ظروف جيولوجية معقولة في الظاهر. ان الشرط الجوهري لذلك كان تواجد الفوسفات كأملاحها الحامضية . ولكي تتصور كيف امكن ان يحصل هذا يتحتم علينا العودة الى الوسط القائم لأقدم المتعضيات المجهريـة على الارض.

تتألف صخور مسلسل انفرواخت التي تقع فيها الاحافير المجهريـة من احجار صوانية أو ظرانية خام فوق صخور بركانية دون مائية بارزة . ورغـم ان الاحجار الصوانية موجودة في متسعات افقية ، فأنها في الغالب تحصل كجيوب في سطح اللابا العتيقة. ان مـا حصل آنذاك هو لربمـا نفس مـا يحصل اليوم في العديد من هذه البوارز، والماء الحـديث العهد المندفع الى السطح اما بفعل الاندلاعات البركانية او الانبثاقات النافورية غني للغـاية بالمغذيات ، فهو مفعم بثاني اوكسيد الكربون وفلزات الفوسفور والكبريـت والنيتروجين الجوهرية الضرورة. ربما ان درجة حرارة البراكين العالية تحرر الفوسفور من الفلزات في الصخور النارية وترفعه الى السطح كأملاح حامضية

قابلة للذوبان فتقوم باغناء مياه البحيرات البركانية.

ونفس الظاهرة تبدو بجلاء اليوم حيث غالبا ما تنمو الاحياء المجهرية للغدران البركانية بغزارة شديدة وتشكل طبقات قشرية تتسع حتى تغطي في النهاية اسطح هذه الغدران بأكملها . وعندما تكون البحيرات كبيرة مثل بحيرة وائمونغو بنيوزيلندة يؤدي هذا النمو الى تكون طبقات قشرية عند الحواف وتمتد على مسافات شاسعة نحو وسط البحيرة[١٩]. ومن الممكن تماما ان تكون الحياة قد بدأت على الارض قبل اكثر من ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة خلت ليس في بحر ذي قوام «الحساء البدائي» وانما في الغدران البركانية الغنية بالفوسفور والكبريت التي كانت منتشرة على سطح الارض اثناء الدهر الاركي.



الفصل التاسع عشر ـ الهضميتيدات (Polypeptides

جاء اكتشاف الطريقة التي تمكنت الحوامض الأمينية والنووتيدات بها من التكون على الارض البـدائية ليملأ الفجوة القـائمة بين الجيولوجيـا اللاعضوية وبين الوحدات العضوية الاساسية للمنظومات البيولوجية • لكن بعد اجتياز هذه العقبة نجد انفسنا على مشارف هوة سحيقة أخرى قبل أن تتمكن من تشييد مثال يصور لنا الاصول الكيميائية للحياة • لا توجد ايـة صفة للحياة في الحوامض الامينية والنووتيدات ، ولا تأتي المنظومة الحية من اللبنات البنائية ، بل من التفاعل المتسق لبيوبوليمراتها، وجملة العلاقـة بين الحوامض النوويك والانزيمات هي التي تشكل أساس البيولوجيا•

وهنا بالذات تكمن المشكلة • ففي المتعضيـات ، كما نعرفهـا تقوم الانزيمات بتحفيز جميع التفاعلات البيوكيميائية ، بمـا فيها التفـاعلات التي تفضي الى تمثيل حوامض النوويك والانزيمات بذاتها• فاذا كانت الانزيمات معا، وكلاهما مطلوب لصنع الانزيمات، من أين اذن جاءت الانزيمات باديء ذي بدء؟

مثلما كانت النظرة في الخمسينات من هذا القرن تشدد التوكيـد على الحوامض الامينية بصفتها اللبنات البنائية الاكثر أهمية ، كذلك ايضا يبدو انه ظهر توكيد على ايجاد منشأ لا حيوي للبروتينات ، وبالتالي للانزيمات، بناء على الاعتقاد السائد ان متى ما تكونت الانزيمات يصبح معها تمثيل جميع المكونات الاخرى ممكنا• ربما كان أقرب الى الذهن التفكير بالظهور اللاحيوي لبولي هضميتيدة ذات خواص انزيمية مما هو تصـور تكون جينة خـارج منظومة بيولوجية، وهي التي يمكنها أن تحصل في المتعضيات المعاصرة بوزن جزيئي يعد بالملايين• انما يبدو محتملا ان الاهتمام الموجه الى البروتيينات

نبع من حقيقة كون الخبراء البيوكيميائيين اعرف بالحوامض الامينيةوالكيمياء الراسخة المقررة لبلمرتها الى بولي هضميتيدات في المختبر .

كان الكيميائيون يحاولون بلمرة الحوامض الامينية بتسخينهـا منـذ ما قبل قيام أف هوفمـايستر[1] (F. Hofmeister) اي فيشر[2] (E. Fischer) بتثبيت الطبيعة البولي‌اميدية (Polyamide) للبروتينات . في عام ١٨٩٧ قـام هيوغو شيف (Hugo Schiff) بتكثيف حامض الاسبرتيك في درجات حرارة مـا بين (١٩٠، ٢٠٠° مئويـة)، وبعد ذلك بثلاث سنـوات قـام ايل بالبيانو (L. Balbiano) ودي تراشياتي (D. Trasciatti) بأعداد البولي غلايسين مـن تسخين الحامض الاميني في الغليسرول ، وعند تسخين الغلايسين بدون مذيب نتج عنه خليط من الهضميتيدات وانهايدرات الغلايسين[5]. لكن يقينا ان عملية البلمرة الحرارية الاكثر نجاحا للحوامض الامينية كانت تلك التي قـام بها والاس كاروذرز (Wallace Carothers) في عام ١٩٣٦ اثناء اشتغاله بشركة دوبـون (Dupont) حـين قـام بتسخـين حـوامض اوميغـا الامينيـة (omega-amino acids) التي تقع المجموعة الامينية فيهـا على ذرة الكاربـون الابعد من نهايـة الكـربوكسيـل، وحصـل على بـوليمر البولي اميـد (polyamide polymer) الذي أصبح فيما بعد معروفا بأسم نايلون[6] (Nylon)

ان تفاعل البلمرة هو خطـوة تجفيفيـة او نزع المـاء (dehydration) وهي عكس الحلمأة (hydrolysis) . ومعنى هذا هو انه يلزم ازالة جزيئة من الماء لكل ترابط اسهـامي (linkage) هضميتيدي يتكـون عند تكثيف الحوامض الامينية . وعليه فان السبيل المنطقي الى انجاز البلمرة هو ايجاد أحوال تجفيفية أو نزعمائية مطابقة. أما الرأي الكثير الشيوع بأن جزيئـات ضخمة تكونت من تكثف المونومرات في زمن ما قبل البيولوجي في أحـد البحار البدائية فهو غاية من السذاجة لأنه لا يأخذ في الحساب الاحتيـاج

الديناحراري (thermodynamic) أو الثرموديناميي البالغ ٨ـ١٦كج/م لتكوين الرابط الهضميتيدي. ان حقيقة نشوء ونمو المتعضيات في البحار لا يعني بالضرورة ان جوهريات الخلية الوظيفية الاولى تكونت هناك.

من أقدم المحاولات لاكتشاف الاصل ما قبل البيولوجي للانزيمات او بوليمرات الحوامض الامينية شبه الانزيمات كانت تلك التي قام بها سيدني فوكس (Sydney Fox) حاليا بجامعة ميامي. في ورقة اعدها بالاشتراك مع ام ميدلبروك[٧] (M. Middlebrook) تم تقديمها الى الجمعية الامريكية للكيميائيين البيولوجيين في عام ١٩٥٤ أعلن فوكس ان تسخين بعض الحوامض الامينية بدرجة حرارة (٢٠٠°) مئوية لمدة نصف ساعة الى ثلاث ساعات اسفر عن انتاج البوليمرات اللامائية (anhydropolymers) ، وقام بمقارنة نتائج هذه التكثيفات بورقة سابقة له تتضمن وصفا لانتقائيةالحوامض الامينية، أي جنوحها الى الاقتران ببعضها في تكثيف انزيميالتحفيز[٨].

ثم في عام ١٩٥٩ أعلن اس دبليو فوكس (S.W. Fox) وكيه هارادا K. Harada وأي فيغونسكي[٩] (A. Vegotsky) عن البلمرة الحرارية للحوامض الامينية في ورقة يؤيد فيها نظرية تفيد ان التمثيل الحراري للبيوكيميائيات سبق نشأة الحياة في تطور ما قبل البيولوجي يشبه مسالك التمثيل الحيوي. على سبيل المثال ، عند تسخين حامض التفاحيك (malic acid). مع اليوريا او الامونيا ، يسفر عن ذلك عن حامض الاسبرتيك[١٠]، وبدوره يمكن تجريد حامض الاسبرتنيك الى الالانين الفا او بيتا (a-or B-alanine) زيادة ذلك، تفاعل حامض الاسبرتيك مع اليوريا بوجود الكلسيوم أو هيدروكسيد المغنسيوم لينتج عنه حامض اليوريدوسكسينيك ureidosuccinicaid وهو وسيط في التمثيل الحيوي biosynthesis لبريميدينات. وقد كانوايولدون بتسخين ملح احد الحوامض من دورة كريبس

(Krebs cycle) منتحات تتكون بيوجينيا (biogenetically) بطريقة مماثلة • كانت فرضية مثيرة للاهتمام لكن التناظر التناسبي انطبق فقط على بضع بُنى بسيطة ولم تشمل طرائق التمثيل الحيوي بكليتها•

كان البيوكيميائيون يعلمون ان تسخين خليط من الحوامض الامينية بالنسب الموجودة في البروتينات يؤدي الى التحلل الحراري ينتج عنه قار اسمر قاتم ذو رائحة كريهة • وبما ان حامض الاسبرتيك يتبلمر بسرعة بالتسخين انما حامض الغلوتاميك لا يفعل ذلك الا بمجهود ، فقد اكتشف فوكس وهارادا أن خلط وتسخين حامض الغلوتاميك مع حامض الاسبرتيك أدى الى بلمرتها معاً غير انه باستثناء الغلايسين لا تشكل الحوامض الامينية المحايدة بوليمرات مماثلة بسبب العائق الحيزي، أي ترتيبة الذرات في الجزيئة • لكن عند استخدام خليط من الحوامض الامينية أغلبه من حامضي الاسبرتيك والغلوتاميك مع خليط متساوي الجزيئي الغرامي (equimolar) من الحوامض الامينية الستة عشر الاخرى بنسبة (٢:٢:١) تمكن فوكس وهارادا من تسخين خليط من الحوامض الامينية لحد ماء (ديلزة =Dialysis الفرز بالانتشار الغشائي)•

أعلن عن هذه الطريقة في عام ١٩٥٨ بوصفها البلمرة الحرارية للحوامض الامينية الى ناتج يشبه البروتين[١١]• لقد نتج عن تسخين خليط من الحوامض الامينية يتضمن ثمانين بالمائة (٨٠٪) حامضي الاسبرتيك والغلوتاميك في مغطس زيتي (oil bath) بدرجة حرارة (١٧٠°) مئوية لمدة ثلاث ساعات عن منتوج شبه الزجاج• بعد اذابة هذه المادة في الماء، وفرزها غشائيا ، وتجفيفها بالتجميد ، أعطى تحليل المسحوق البني الناتج وزنا متوسط السلسلة (=mean chain weight وهو وزن جزيئي) قدره (٤٩٠٠) يتضمن (٧١٪) حامض الاسبرتيك و(١٥٪) حامض الغلوتاميك و(١٤٪) من جميع الحوامض

الامينية الاخرى مجتمعة • ومن تحليل الحوامض الامينية العيارية الطرف (N-terminal) تم الاستنتاج ان البوليمر تضمن ترتيبة لا عشوائية من المونومرات•

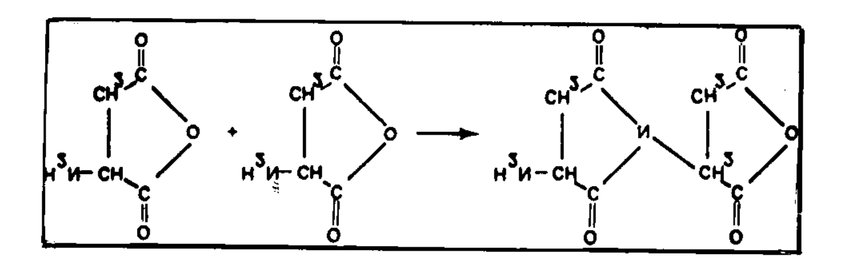
لقيت فكرة امكان عمل بوليمرا يشبه البروتين بتسخين تناسب صحيح من الحوامض الامينية اهتماما كبيرا خلال السنوات الستينية من هذا القرن وجرى نشر عدد كبير من الاوراق تحاول اقامة علاقة تناظرية بين العديد من الخواص المادية والكيميائية للبروتينات وبين هذه البوليمرات الحرارية[١٢]• كانت أغلب المقارنات للخواص اللاحرجة كأختبارات الالوان او التحليلات العنصرية الناشئة عن الحوامض الامينية أو الروابط الاسهامية الهضميتيدية القصيرة • من جهة أخرى أخفقت هذه البوليمرات الحرارية في ابداء أي تجاوب حصين عند اختبارها لتوليد التضادية[١٣] (antigenicity) وهو اختبار حساس للغاية للبنية البروتينية•

أطلق فوكس اسم شبه البروتين (protenoid) على البوليمرات الحرارية هذه، وحاجج على انها تتضمن جميع الثمانية عشر حامضا امينيا الموجودة في البروتينات (باستثناء الغلوتاميك والاسبرتيك•)، وجرى تمديد اصناف شبه البروتين الى القاعدية منها التي كانت في الاغلب ليسين (lysine) وهو حامض أميني يمكنه ايضا أن يكون بوليمرا متجانسا (homopolymer) وجد مسلسل من الخواص التحفيزية الضعيفة للغاية في بوليمرات حرارية مختلفة اعتبرت انشطة شبه أنزيمية[١٤]•

وبسبب لا تجانسيتها، تعذر التثبت من الترتيبة للحوامض الامينية في هذه البوليمرات الحرارية بالتسبيق ، على غرار الاسلوب المتبع اعتياديا مع الهضميتيدات الطبيعية • بالنتيجة ، كان قسط كبير من تفسير فوكس بخصوص البنية موجها لبيان تواجد لا تجانسية محدودة، ولا عشوائية، أي ان

الحوامض الامينية عند تسخينها معا تتكثف مع درجة من الانتقائية الجانحةالى شاكلتها لتكوين سياقات تشبه تلك الموجودة في البروتينات. غير ان انعدام العشوائية واختلاف نسب الحوامض الامينية في بوليمر حراري ليسا دليلا بالمرة على أن ترتيبة الحوامض الامينية تشبه البروتينات. كما توجد تفسيرات اكثر بساطة متمشية مع السلوك الكيميائي .

ان حامض الاسبرتيك ، كيميائيا، هو المشتق الاميني من حامض السكسينيك(١٥)، وهو يتبلمر بسرعة عند التسخين لأن بأمكانه تكوين انهايدريد يتفاعل بعد ذلك مع أية مجموعة امينية متوفرة بما فيها تلك في حوامض الأسبرتيك الأخرى تستمر البلمرة فور ابتدائها الى أن تستنفد حامض الاسبرتيك المتوفر أو تنتهي بحامض اميني محايد يعجز عند تمديد أو مواصلة العملية.



تمكن فوكس باستخدام خلائط من الحوامض الامينية تتألف في معظمها من حامض الاسبرتيك او الليسين (Lysine)، وهما حامضان امينيان يتبلمران بسهولة الى بوليمرات متجانسة ، من الحصول على بلمرة هذه الحوامض الامينية مع مقادير صغيرة من الاخرى مندمجة بهاء امكن بلوغ الاوزان الجزيئية العالية المنسوبة الى البروتنويدات أو اشباه البروتين فقط اذا كان

البوليمر في الجوهر من حامض البولي اسبرتيك أو البولي ليسين • ومن بين سمات هذا التفاعل كانت النسبة الاكبر من الحوامض الامينية المحـايدة ، ومعدل الوزن الجزيئي المنخفض للناتج، وهو دليل واضـح على ان هـذه الحوامض الامينية انهت العملية بالتفاعل معا عند عجزها عن مواصلة البلمرة•

للوهلة الاولى يبدو التحليل بالحوامض الامينية لهذه البوليمرات شبيها بتحليل بروتين قياسي مع النسب المئوية الموليـة أو الجزيئي غرامية لجميع الحوامض الامينية الثمانية عشر مدرجة في جدول • أما الوهم في تفسير هذا التحليل فأنه كمن في اعتبار الاوزان الجزيئية لهذه البوليمرات الحرارية فقط ما بين (٤٠٠٠) الى (٥٠٠٠) • انما بوزن جزيئي قدره (٤٥٠٠) ابـان التحليـل ان البوليمر تضمن اثنين وعشرين (٢٢) من حوامض الاسبرتيك ، وثلاثة حوامض غلوتاميك وثمانيـة من الاخرى[١٦]• أما عندما كان الوزن الجزيئي (٤٩٠٠) فتبين ان التركيبة تضمنت (٢٦) حامضا اسبرتيك، وثمـانية غلوتاميك، و(٧) من الاخرى• ومعنى هذا هو انه بالرغم من ان ناتج التحليل تضمن جميع الحوامض الامينية الثمانية عشر (١٨) لم يتسع أي من البوليمرين لاحتواء اكثر من سبعة او ثمانية من الحوامض الامينية الستة عشر الاخرى اضافة الى حامضي الاسبرتيك والغلوتاميك في جزيئة واحدة • تحلل العديد من الحوامض الامينية من قبيل التيروسين أو الفنيل الانين بنسبة مئوية بطيئة لدرجة استدعت كون الوزن الجزيئي للبوليمر الحراري أكبر بثلاثة أو اربعة اضعاف ليتضمن حتى مجرد فضلة واحدة• كان واضحا ان النتائج لم تتضمن ما يشير الى التبلمر التزامني لجميع الحوامض الامينية الثمانية عشر في نفس البوليمر ، ثم من حيث التعريف لم تكن البوليمرات الحرارية حتى أشبـاه بروتين•

قلما يمكن ان يتسرب أي شك الى انه لا يمكن افتعال التمثيل البيولوجي

للبروتينات بمجرد تسخين خليط لا متجانس من الحوامض الامينية ، فالعائق الحيزي سيحول دون تفاعل الحوامض الامينية ذات السلاسل الجانبية المنافرة للماء في التفاعلات الحرارية ما عدا في المواضع الطرفية • وبالنتيجة لا يفعل ذلك الا الحوامض الامينية المعروفة بسهولة تبلمرها • أما البروتينويدات أو اشباه البروتينات فقد كانت خلائطا من حامض البولي اسبرتيك أو البولي ليسين منثورة بحوامض الغلوتاميك والغلايسينات وبطرف حوامض امينية محايدة ، وتمديد التسخين او رفع درجات الحرارة أدى الى زيادة عدد الحوامض الامينية المحايدة المدمجة ، وهذا مطابق مع الرابط الايميدي (imide bond) لحامض الاسبرتيك المكثف المتفاعل مع هذه الحوامض الامينية، مضيفا اياها الى السلسلة الجانبية • كانت البلمرة المتزامنة لجميع الحوامض الامينية الثمانية عشر مبنية على التحليل الحامضي الاميني للناتج الذي ابان ان جميعها موجودة لحد ما• انما هذا لا يشير الى السياق بشيء • عند تسخين حامض بولي اسبرتيك في خليط مماثل من الحوامض الامينية يعطي البوليمر الناتج ايضا تحليلا لجميع الحوامض الامينية بنفس الطريقة كتلك الخاصة بما يسمى بالاشباه بروتينات[١٧]•

اعطت تجربة ميلر حوامض امينية لأنه تم غسل المنتوجات المتكونة بالتفريغ الكهربائي في قارورة اعادة التسييل حيث تحلمأت بسرعة • أدى هذا الى اعادة اسقاط المواد الوسيطة خلف الحاجز الديناحراري للتبلمر التلقائي واقامة الحاجة الى تفاعل تكثيفي يستلزم الطاقة لانتاج هضميتيدة، وبدلا من محاولة استحثاث المناطق اللامائية او درجات الحرارة العالية لاعادة المواد المكثفة الى وضعها، قام بعض الباحثين بتقصي أساليب لاستحصال البولي هضميتيدات بطريقة مباشرة اكثر•

قد يمكن الجواب على تكون الهضميتيدات في تجربة ميلر بذاتها• تم

عزل الهضميتيدات والحوامض الامينية ايضا من المحلول في تجربة الشرارة التي أبقت درجة حرارة الماء فيها على (٤٠°) مئوية[١٨]. أما عند اقامة التجربة في درجة حرارة الغرفة فلم يتم اكتشـــاف الحوامض الامينية الا بعد حلمأة الفضلة الصلبة المستعادة بعد تبخير السائل[١٩]. كان ساغان وخاره[٢٠] ايضا قد لاحظا هــذه الظــاهرة لدرجــة الحــرارة في دراساتها للضوءكيميائية (photochemical) حيث تم الحصول على صوالب تقبل الحلمأة الىحوامض امينية دون درجة الحرارة(٥٠°) مئوية. يبدو انهذه النتائج تشير بكل وضوح الى ان الحوامض الامينية لا تتكون مباشرة في التفاعل وانما تنتج فقط من خلال حلمأة طلائعها.

وعليه فان طلائع الحوامض الامينية تواجدت في شكل مكثف اسفر عن الحوامض الامينية عند التحلمؤ. يتبلمر سيانيد الهيدروجين في السوائـــل القاعدية ليعطي خليطا يشمل التترامر (di-aminomalonitrile) وبنتامر (ادنين) وطلائع حوامض امينية بوليمرية وصوالب سوداء جموحة يصعب تحديدهـــا يعتقد انها أدت الى التحام البنى التتراهيدروبيريدينية (tetrahydropyridine) قام كليفورد ماتيوز (Clifford Mathews) وروبرت موزر[٢١] (Robert Moser) بعزل صوالب شبه هضميتيدية من خليط التفاعل وحلمأها الى اثني عشرمن الحوامض الامينية العشرين الشائعة في البروتينات ، وبعـــد ذلك أعلنا عن تكوننتوجاتهضميتيدية مماثلة منحلمأة التترامرثنائي امينو مالونيتريل[٢٢].

وكنتيجة لاعمال لاحقة، قام ماثيوز[٢٣] العامل الآن بجامعة الينوي بفلكة شيكاغو بطرح فكرته ان البولي هضميتيدات اللامتجانسة تتكون مباشرة من سيانيد الهيدروجين وانها كانت لتتكون على الارض البدائية. بحسب منطوق الفرضية يوجد مسلك منخفض الطاقة ليتبلمر سيانيد الهيدروجين فيه بسرعة الى بولي امينومالونيتريل، والتفاعلات المتلاحقة لسيـــانيد الهيدروجين مع

مجموعات النيتريل التفاعليـة آنذاك يجب أن تفضي الى البولي اميدينـات اللامتجانسة (hetero-polyamidines) التي بامكانها أن تتفاعل مع الماء لانتـاج البولي هضميتيدات اللامتجانسة مع كون سياقات الحوامض الامينية فيهـا مماثلة لما لدى البروتينات .

توجد ادلة طيف كشفية (سبيكتروسكوبيـة: (spectroscopic) على ان اربطة الهضميتيد ومجموعات النيتريل موجودة في المنتوجـات المتكونـة بالاشعاع المؤاين في محاليل سيانيد مائية[٢٤]. وعند حلمأة هذه المنتوجات في أعقاب ذلك أدى الى تحصيل عديد من الحوامض الامينية.وتأييدللنموذج المقام لأصل البروتينات قام ماثيوز وجماعته[٢٥] بمفاعلة بولي الفاسيانوغلايسين (poly-a-cyanoglycine) مع سيانيد الهيدروجين أسفرت عن منتوج تحلمأ الى حوامض امينية مختلفة تشمـل الغـلايسين والالانين والغـالين وحامضي الاسبرتيك والغلوتاميك.

ألا ان الرأي بأن البولي هضميتيدات اللامتجانسة او المختلفة تكونت بالفعل كطلائـع تعرض للتشكيك والنقض[٢٦]. فقد اسفرت الاختبـارات النوعية لوجود اربطة الهضميتيد كالتحفيز بالبروناز (jronase) ، وهي انزيمة يمكنها حلمأة الدايغلايسين diglycine= أو ثنائي الغلايسين) الى غـلايسين عن نتائج سالبة. لكن مسألة تكون البولي هضميتيدات اللامتجانسة بهذه الطريقة واحتوائها على سياقات كالتي للبروتينات ربما ستبقى رهن النزاع الى أن يتم الحصول على ناتج يتجاوب في تفاعل بيولوجي مثل التجريـد الانزيمي . قام سـي آي سيميونسكـو (C.I. Simionescu) وأف دينس[٢٧] (F. Dénes)في رومانيا بتحري اعداد او تحضير المواد البوليمرية في تجارب افتعالية في أحوال البلازمة الباردة. أضيف خليط من الميثان والامونيا وبخار الماء بواسطة صمام ابري الى حجرة وجرى تعريض الغازات فيهـا الى تفريغ

كهربائي، ترسبت في أثره النواتج على جدران وقاع القارورة الاسطوانية التي تبريدها الى ستين الى اربعين (٦٠ــ٤٠°) مئوية تحت الصفر . اسفرت تجزئة هذه النواتج بالتقطير التفاصلي عن حصول كسور او تنف (fractions) بوليمرية بوزن جزيئي يقع في عشرات الآلاف ، وعند حلمأة المواد الخام ظهرت حوامض امينية من بيورينات وبيريميدينات ، وعدد من المشتقات المحايدة النهدرين ــ موجبة ذوات بنى مجهولة في ناتج الحلمأة.

اقترح نموذج آخر لتمثيل الهضميتيدات ما قبل الحياتية بعد اربع سنوات فقط من تجربة ميلر وكان مبنيا على التفاعل الذي اعلن عنه في اول الامر سي كروسون (C. Krewson) وجيه كاوچ[٢٨] (J. Couch) في عام١٩٤٣.

خلال شهر آب من عام ١٩٥٧، قبل اطلاق مركبة الفضاء سبوتنك بشهرين، انعقدت الندوة الدولية الاولى حول نشأة الحياة في موسكو برعاية اوبارين والعلماء زملائه في هذا اللقاء قدم شيرو اكابوري[٢٩] (Shiro Akabori) من معهد بحوث البروتين بجامعة اوساكا ورقة حول طريقة كان يمكن بها أن تكون البولي هضميتيدات من اوزان جزيئية بقدر (١٥٠٠٠) في الاحوال البدائية . في هذه الطريقة تفادى اكابوري مشكلة تجفف الطاقة الطليقة بتمثيل البولي غلايسين في الصلصال Clay من الفورمالديهايد والامونيا وسيانيد الهيدروجين بواسطة الامينواسيتونيتريل كوسيط.

$$CH_2O + NH_3 + HCN \longrightarrow H_2N{-}CH_2{-}CN$$

Aminoacetonitrile

$$H_2N{-}CH_2{-}CN \longrightarrow x(-NH{-}CH_2{-}\underset{|}{\overset{NH_2}{C}}-) \xrightarrow{x\,H_2O} x(-NH{-}CH_2{-}\underset{\|}{\overset{}{C}}(=O)-) + x\,NH_3$$

بعدما تكون البولي غلايسين امكن ادخال سلاسل جانبية بالتفاعل مع الالديهايد او مع الهيدروكاربونات اللامتشعبة • وبهذه الطريقة عندما قام اكابوري بمعالجة البوليغلايسين في الكاؤلينيت (Kaolinite) بالفورلديهايد تمكن من تحويل اثنين الى ثلاثة بالمائة (٢–٣٪) من الغلايسين الىالسيرين، وأعطى الاستتالديهايد واحدا ونصفا بالمائة (٥ر١٪) مجموعات تريونيل (threonyl) • وعلى هذا النحو اعتبر ان الغالين واللوسين والايسولوسين يمكن تكوينها من البروبلين (propylene) والايسوبيوتين (isobutene) «بت–٢–اين» (but-2-ene) وبامكان التفاعل مع الاكريلونيتريل (acrylonitrile) أن يفضي الى الغلوتامين والارجنين والليسين او اللايسين• وبامكان تفاعلات أخرى أن تفضي الى السستين•

$$-NH-CH_2-C(=O)- \xrightarrow{CH_2O} -NH-CH(CH_2-OH)-C(=O)- \longrightarrow -NH-C(=CH_2)-C(=O)- \xrightarrow{H_2S} -NH-CH(CH_2-SH)-C(=O)-$$

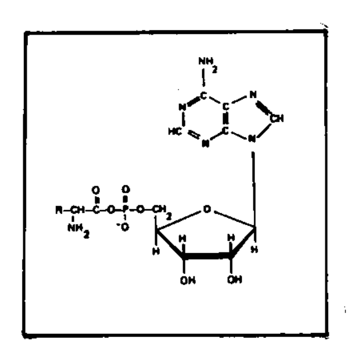
كانت هذه خطة بارعة ، ألا انه يصعب التقدير ما اذا كانت ملائمة لتكون بروتين ما قبل حياتي• كان جيه دي برنال[٣٠] (J.D. Bernal) قد اقترح في عام ١٩٥١ ربما ان الحياة نشأت على سطح الصلصال الذي كان من الممكن ان يراكم مقادير كبيرة من المواد العضوية ، لكن الصعوبة في هذا التفاعل هي رفع الناتج من الصلصال بعد امتصاصه• وكان اكابوري قد استخرج ناتجه بالاستعانة بهيدروكسيد الصوديوم المخفف•

الصلصال هو مادة طبيعية شائعة ذات خواص بنيوية وتحفيزية قد

جعلته مادة مفيدة كعامل امتصاص وايضاح• تؤدي تعرية التربة واصناف الصخور المختلفة الى تكون فلزات صلصالية كجسيمات او هباءات (particles) تتألف في جوهرها سيليكات الالمنيوم المائي الكريستالي (crystalline hydrous almuminium silicates) • تتألف الفلزات من التئامات من وحدتين بنيويتين اساسيتين، تتألف احداهما من تراهيدرا السيليكا (silica tetrahydra) مع اربع ذرات اوكسجين أو هيدروكسيلات متساوية الأبعاد من ذرة سيليكونية مركزية مرتبة كشبكة سداسية تكرارية لتشكيل صفيحة (sheet) • أما الوحدة البنيوية الأخرى فتتكون صفيحتين من الفلزات يتم فيها تنسيق الاوكسجين والهيدروكسيلات على منوال المثمن الاسطح حول ذرات الالمنيوم او الحديد أو المغنسيوم • تصنف انواع الصلصال الى ايليت (illites) ، وكلوريت (chlorites) ، وكاؤلينيت (haolinites) ، ومونتموريلونيت (montmorillonites) وغيرها بحسب سماتها البلورية اللاشكلية وكذلك بخواصها التحدبية (swelling) ، ومقدرة فلزات الصلصال على مسك ومبادلة بعض الكاتيونات والآيونات هي احدى خواصها الكيميائية المثمنة للغاية•

وبما انه تتوفر كثرة من الشواهد للدلالة على امكانية تكون الحوامض الامينية بسرعة وسهولة في الاحوال ما قبل البيولوجية ، فان التكثف اللاحياتي للحوامض الامينية بذاتها لا يزال له روق منطقي • انما تبقى هناك الحاجة الى طاقة عالية لبلمرتها في الاحوال الطبيعية • ولانجاز هذا تتنشط الحوامض الامينية عادة بأنهايدريد مختلط بين الحامض الاميني وحامض آخر، وفي التمثيل الحيوي هذا الحامض الآخر هو مجموعة حامض الفوسفوريك في ثلاثي فوسفات الادنوسين ATP والانهايدريد الناتج هو ادنيلات الحامض الاميني•

ما أن يتكون الادنيلات حتى يتم رفع الحامض الاميني الى مستوى من الطاقة مرتفع بما يكفي لحصول البلمرة تلقائيا • انما لكي يتفاعل ادنيـلات الحامض الاميني مع حامض اميني آخر يلزم أن تكون المجموعة الامينية لذلك المونومر خالية من الشحنة الكهربائية• تتواجد الحوامض الامينية فيالسوائل المحايدة بمثابة زويتريونات (switterions) تتم فيها مؤاينة المجموعاتالامينية والكربوكسيلية •



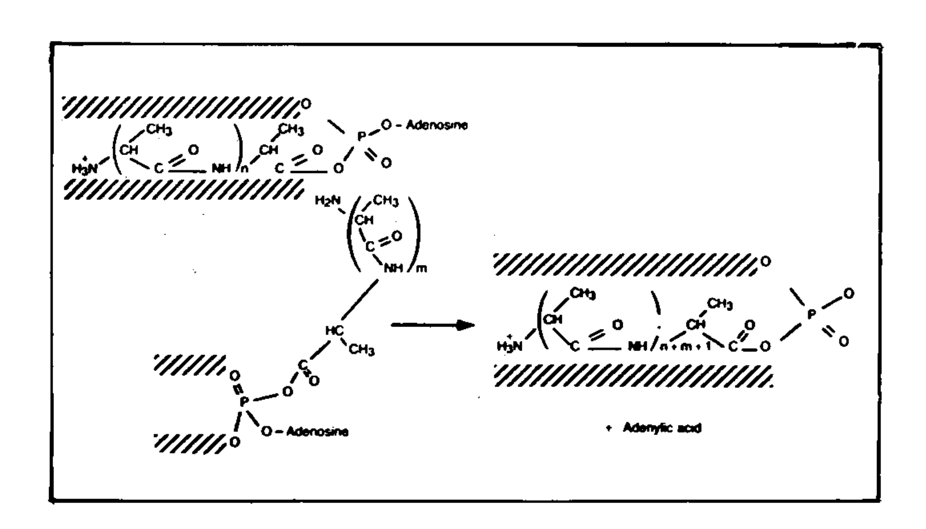
الشكل ١١/٩ ـ بنية ادنيلات الحوامض الامينية

لن تتكون اية ادنيلات اذا ما ترك الحامض الاميني والاتب للسكون معا في (٧)، انما ستتكون في سائل حامضي الذي تتواجد فيه مجموعة الكربوكسيل اللامؤاينة ، غير ان الادنيلات الامينية تتحد في هـذا الجانب من الحيادية • ايضا لا تتمكن المجموعة الامينة من التفاعل الا اذا

كان يد^س حوالي ٨٠ ان المطلوب للبلمرة في الاحوال الطبيعية هو وضع تكون فيه المجموعات الكربوكسلية والامينية للحوامض الامينيــة تفاعليــة بنفس مستوى يد^س

اكتشف هذه الحالة ميلا بيخت هورونيتز (Mella Paecht-Horrowitz) واهارون كاچالسكي[٣١] (Aharon Katchalsky) اثناء تحرياتهما في الاطيــان بحثا عن الصلصال الظرمي او صلصال السيليكا الملائم الذي يتضمن ما يكفي من المجموعات لتمتزج بالحوامض الامينية لاعطاء ملح سيليكات للمجموعــة الامينية وتسريح المجموعة الكربوكسلية من الزويتريونة في يد^س محــايد• وفوران تتحرر المجموعة الكربوكسلية بأمكانها ان تتفاعل مع الاتب لتكوين انهايدريد تفاعلي مختلط • اكتشفا ان الزيوليت تقوم بهذه الوظيفة وعنــد استخدامها في خليط من حامض اميني وأتب افضى ذلك الى توليد الادنيلات، لكن التبلمر لم يحصل • وعندما تذكرا نجاحهما السابق مع الموتتموريلونيت، أقاما تجربتهما من جديد على هذا الصلصال وفيه بدأ تبلمر الحــامض الاميني•

في أحوال التجربة ؛: تبلمرت الحــوامض الامينيــة بأختلاطها بالأتب والموتتموريلونيت في مستوى يد^س ما بين (٥ر٧) الى (٥ر٨)، ونظرا لتحرر حامض الادنيليك في هذا التفاعل استلزم ذلك الحفاظ على مستوى يد^س بأضافة القلي بأستمرار ، وخــلاف ذلك كا ن التبلمر سيتوقف مع صيرورة الـ يد^س حامضيا• كان مدى البلمرة المحقق باهرا ، وخلال بضع ساعات امكن تحقيق سلاسل م ن خمسين (٥٠) مونومرا وأكثر•



الشكل ٢/١٩ ـ بلمرة ادنيلات الحوامض الامينية في صلصال المونتموريلونيت

انما حصلت معوقات • بعض الحوامض الامينية تبلمرت سوية بشدة كالالانين والسيرين او الالانين والبرولين ، بينمــا جنح خليط من الالانين وحامض الاسبرتيك الى اعطاء فقط بوليمرات متجانسة من كل منهما• كمــا ان الحوامض الامينية القاعدية لا تتبلمر لشدة تلاصبها في الصلصال •

لكن ناحية ملفتة للنظر في التفاعل هي انه بامكانه نظريا تكوين حــامض البولي ادنيليك من نفس المادة البادئة كمنتوج جانبي للتفاعل[٣٢]•

لم يتم التدليل على هذا تجريبيا، انما اذا كان يمكن تكوين الحوامض البولي أمينية والحوامض البولي نوويك في آن واحد وفق ما طرحه آيجن[٣٣] (Eigen) فقد كان سيتم التغلب على عقبة رئيسة في الحل لمسألة أصل الحياة•

ليتسنى تكثف الحوامض الامينية في الصلصال يلزم أن تكونتركيزاتها فوق مستوى (١٠ـ٣) مولة بالتر الواحد• لقد اجريت اغلــب التجــارب المختبرية بتركيزات عالية نسبيا بغية تحقيق النتائج الأمثل انما ربما لم يكن

تركيز الحوامض الامينية في البحار عاليا جداً مطلقا . وبالاخذ بالحساب عمليات الانتاج والتلف ، قام كلاوس دوزه[٣٤] (Klaus Dose) باحتساب تركيز الحوامض الامينية في البحر البدائي بكونه زهاء (١٠$^{-٣}$) مولار، ووجد اين لاهـاف (N. Lahav) واس چانك[٣٥] (Chang) ان التصاب او امتزاز الحوامـض الامينية عند مستوى (يد س ٨) اضعف بكثير مما كان ليساعد هذه المونومرات على التراكم على أسطح الصلصال، وهذا يطابق ما كان برنال[٣٦] قد ابداه. لهذا السبب يظن الخبيران المتقدمان أن أي تفاعل في الصلصال كان ستسبقه خطوة تركيز كمن قبيل التبخر في بحيرة او غدير.

لقد وجد ان اطيان الصلصال كانت نادرة في رواسب دهور ما قبـل الكمبري[٣٧]، لكن رغم انها ربما لم تكن غزيرة كتراكم الاطيان الصلصالية من الصخور الرسوبية ، فانه مع ذلك يمكن ان ينجم الصلصال من استحالة الزجاج البركاني الى صخور طفالية او صلصالية . ان الفعل الحـرارمـائي (hydrothermal) للنافورات البركانية أو التعرية على الارمدة والطفة البركانية يؤدي في الاغلب الى انتاج صلصال المونتموريلونيت[٣٨]. وعليه فلربمـا كان توجد أطيان صلصالية في الدهر الاركي لتنفيق بلمرة الحوامض الامينية، كما طرحته بيخت هوروفتز وزملاؤها.

للتفاعل الصلصالي التحفيز جدارة انما له ايضا منغص بنفس الوقت. ان السمة الابرز لتفاعل التكثف على الصلصال هي انه تكثف في الفاصـل البيني (interfacial) ، وهي آلية شديدة الشبه او التماثل بالمنظومات البيولوجية التي تكون فيها البنية البدنية بالغة الاهمية ، كالتفاعلات السطحية التنشيط في سطحي البني (interfaces) الماء ـ الدهنيات ، فضلا عن ذلك لقد اوضح ارمين فايس[٣٩] (Armin Weiss) من جامعة ميونيخ ان بامكان منظومات الصلصال

اللاعضوي أن تعمل كحاملات معلومات بعملية التكاثر الذاتي التلقائي.

لكن الاعتراض الاكثر خطورة على التفاعل ليس موجها الى آليته، وانما الى امكانية انطباقه . ان التجارب التي أقامتها بيخت هوروفيتز، واكابوري، وفوكس، وغيرهم، قد حاولت أن توضح بالمثال الاحوال الجيولوجية التي كان يمكن ان تنتج عنها بولي هضميتيدات كبيرة على ما يظهر مع الافتراض أن مثل هذه العملية يمكن بالنهاية انتنجم عن تمثيل ما قبل البيولوجي للانزيمات او مواد شبه انزيمية . ومتى ما توفرت البولي هضميتيدات لتحفيز التفاعلات الضرورية البيوكيميائية سيكون بأمكان خلية حية وظيفيــة ان تلتئم . لكن امكانية نشوء أي شيء يشبه الانزيمة ابدا من هذه التفاعلات امر مشكوك فيه للغاية. ثم من جانب آخر، ان هذه كلها مســائل درب مسدودة ، ولم يكن سياق اية بولي هضميتيدة ذات فائدة سيتم الاحتفاظ به وتناقله الى الاجيــال المتعاقبة، لعدم كونه متأتيا من منظومة تناسخية.

الفصل العشرون ـ غموضية الانزيمة

بدت الانزيمة دائما محفوفة بظل من الغموضية والابهام. كما انالطبيعة المتناهية في النوعية لنشاطها ووتائرها المذهلة في تحفيز التفاعلات قد أطّرتها بما يوحي ان لابد ان الانزيمات خلائق فريدة تقف على جانب من سواد المواد الكيميائية الاخرى . انما سواء كانت الانزيمات من السواد أم خلافه ، فهي ليست اكثر من مجرد جزيئات كبيرة قد شحذها التطور وشذبها الارتقاء الى دقة باهرة وقدرة عجيبة على مر اربعة آلاف مليون سنة من التهذيب.

اننا ندرس اشكال الحياة المعاصرة وندهش محتارين من تناهي تعقيدها البيوكيميائي. فحتى ابسط بكتيرة على الاطلاق تضم ما بين الفين الى ثلاثة آلاف (٢٠٠٠ـ٣٠٠٠) انزيمة مختلفة لانجاز عملياتها التآيضية . تعمل ماكنتها الخلوية التي تسيرها الانزيمات بمنتهى السلاسة والاقتدار وبما يوحي الى الناظر أن الانزيمات بحالتها الحاضرة كانت جوهرية لتكوين اية منظومة بيولوجية اولية . لكننا نتأمل جهازا أحدث من ذلك بأشواط شاسعة . والحياة لم تبدأ مع الانزيمات، انما بالاحرى تطورت معها عبر دهور من التبدل الطفرة والتكيف. ولكي نفهم كيف تمكنت الخليــة الاولى من البدء على الطريق المؤدي الى منظومة حية تعمل كليا بأمرة وتحكم الانزيمات، يقتضي بنا ان نتعرف على ما الذي يجعل الانزيمة تشتغل، ولكي نفهم الانزيمات يقمن بنا أن ندرك ونقدر خصائص البروتينات واهميتها الفريدة ، وذلك لأن الانزيمات هي بروتينات.

ما ان أصبحت البروتينات جزءا من المنظومات البيولوجية حتى أضفت عليها تنوعية مكنتها من خلق الصفات الفردية المميزة لكل كائن حي. توجــد عشرات الآلاف وربما ما ينوف على مائة الف (١٠٠ ٠٠٠) بروتينة مختلفة في

كل جسم بشري ، وتمثل اكثر من نصف الوزن الجاف للبدن، وتتراوح بالحجم الجزيئي من ستة آلاف (٦٠٠٠) الى ما يناهز عشرة ملايين (٠٠٠ ٠٠٠ ١٠)، غير اغلبها يقع في ما بين اثني عشر الفا وستة وثلاثين الفا (١٢٠٠٠ــ٣٦٠٠٠) أي من مائة الى ثلاثمائة (١٠٠ــ٣٠٠) حامض اميني، وهو حجم سلاسل البولي هضميتيدات التي تقوم الريبوسومات بتمثيلها، أي صنعها، عادة.

تعمل البروتينات بصفات عديدة . فالبروتينـــات كالميوسين (myosin) والكولاجين (Collagen) تؤلف المكونات البنيوية للعضل والانسجة الضامة او الرابطة بمثابة كيراتين (keratin) تكون الشعر والاظفار ، وكأنزيمات تقوم بضبط وتسيير جوهريا كل تفاعل بيوكيميائي، وكهورمونات (hormones) تعمل بصفة العوامل التنظيمية للعمليات الخلوية . والبروتينات اجسام‌مضادة (antibodies) تعمل فى التجاوب الحصين ضـــد البروتينـــات الاجنبيـــة، وكهستونات (histones) وبروتامينات (protamines) تقوم بكبت الجينات غير المطلوبة. فما هو السر في تكليف البروتينات بكل هذا العدد الكبير من الوظائف في عمليات الخلايا؟

والجواب هو ان بوسع البروتينات أن تنجز ما لا تستطيع انجازه الا مواد غير قلائل غيرها ، ألا وهو تمييز الجزيئات الاخرى، ومقدرة البروتينات على تشخيص الجزيئات تعطي الانزيمات نوعويتها الدقيقة المتناهية . لقد اعتمد تطور المنظومات الحية الى عدد كبير من التفاعلات البيوكيميائية على قدرة الخلية على تنسيق عملياتها العديدة والتحكم في كيفية توجيهها. وتسنى هذا بفضل تنمية الخلية انزيمة معينة لمتابعة كل تفاعل. ولهـــذا السبـــب ليست الانزيمات محفزات نوعية يحار العقل ازاءها فحسب، بل ان عددهـــا ضخم للغاية ايضا.

فما هو مدى تعقيد البنية الكيميائية للانزيمة الواحدة ، وكيف امكن لكل هذا العددالعديدمن الجزيئات المعقدة ذوات هذه الدقة الباهرة أن تنشأ خلال فترة الحياة على الارض؟

اننا نعلم أن جميع البروتينات عند تسخينها في حامض الهيدروكلوريك عياري ٦ (6 Normal hydrochloric acid) بدرجة حرارة (١١٥°) مئوية لعدة ساعات. تتم حلمأتها الى وحداتها الفرعية ، وهي الحوامض الامينية. والحوامض الامينية في البروتين موصولة معا في سلسلة طويلة مع كون تعاقب ترتيبتها بالاساس المسؤول عن فرديتها . يوجد حوالي عشرين حامضا امينيا عاديا (أنظر الشكل ٢٠/١) وهي تشكل الفباء بنية البروتين. وهذه البنية بمثابة لغة مكتوبة، والحوامض الامينية هي الحروف التي تشكل الكلمات التي يتم صوغها في جمل، وهذه بدورها تصبح الرسالة التعبيرية التامة . ويتم تفسير الرسالة ، وهو دور البروتين البيولوجي، في مجموع بنية الجزيئة الكلية.

تعتمد مقدرة البروتينات على التمييز بين الجزيئات المختلفة على شكل او كم البروتينات الثلاثي الابعاد، وفيما تطورت الحياة وازدادت تعقيدا، ازداد تعقيد بروتيناتها ايضا. وأدرك البيوكيميائيون انهم ان أرادوا أن يفهموا كيف تشتغل البروتينات في الخلية الواحدة فانه يقتضي بهم التعرف على شكلية الترتيبة المجسمة للجزيئات بكل دقائقها التفصيلية وأصبحت هذه احدى أشق وأصعب المهام التي واجهتها الدراسات والبحوث لفك رموز كيمياء الحياة وكشف اسرارها .

تتألف البولي هضميتيدة الواحدة من سمط من الحوامض الامينية متصلة في سياق (أنظر الشكل ٢٠/٢). لكن عندما تكون الجزيئة كبيرة كما هي بالنسبة الى البروتينات ، لا تكون طولية بل مشوهة بعدد من العوامل في تضريسة مجسمة . تتيح تنويعة المجموعات الوظيفية في السلاسل الجانبية

للحوامض الامينية قيام التفاعــلات التي تؤدي الى استقرار أو تهدئة بعض التطابقات الشكلية وتخل باستقرار غيرها ، وبوسع مجموعات الكبريهندريل (sulfhydryl لسيستينتين اثنتين (cystines) ان تتأكمد لتشكيل رابط ثنــائي الكبريتيد (disulfide) القوي• كما بوسع مجموعات تورية الهيدروجين من مثل (>NH) نشكيل اربطة هيدروجينية مع مجموعات الكربونيل (>C=O)

GLYCINE (Gly) ALANINE (Ala) VALINE (Val) ISOLEUCINE (Ileu) LEUCINE (Leu)

SERINE (Ser) THREONINE (Thr) ASPARTIC ACID (Asp) GLUTAMIC ACID (Glu) ASPARAGINE (Asn)

LYSINE (Lys) ARGININE (Arg) GLUTAMINE (Gln) CYSTEINE (Cys) METHIONINE (Met)

TRYPTOPHANE (Try) PHENYLALANINE (Phe) TYROSINE (Tyr) HISTIDINE (His) PROLINE (Pro)

الشكل ١/٢٠ ـ الحوامض الامينية الشائعة العشرون الموجودة في البروتين•

(أنظر الشكل ٣/٢٠)• كما بوسع الصد الحيزي او المجسم (steric repulsion) السلاسل الجانبية الضخمة الحيلولة دون اصطفاف بعض التطابقات الشكلية (conformations) ، فضلا عن أنه بوسع الماء بكونه بنية ذوابية (solvating structure)حول المجموعات المشحونة والقطبية بذل تأثير كبير•

قام الكيميائيون بتصنيف بنى البروتينات الى اربع مراحل ليتمنى تعريف اشكالها وأحجامها الثلاثية الابعاد• أن البنية الاولية الاساسية للبروتينات هي سياق الحوامض الامينية في سلسلة البولي هضميتيد • أما المراحل الثلاث الاخرى فهي ترتيبات حيزية او مجسمة مختلفة تتخذهاسلسلة البولي هضميتيده اما بمفردها او مع بولي هضميتيدات أخرى•

اكتشف لينوس بولينك (Linus Pauling) وروبرت كوري (Robert Corey)وزملاؤهما[١] من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا ان الطريقة الوحيدة التي تتشابك بها لبنات البناء اللامتناظرة للبوليمر بحيث تملك كل منها نفس العلاقة بجارتها هي بتشكيل لولب كالدرج الحلزوني• وعليه يصبح تلولب الحوامض الامينية البنية الثانوية للتشكيلة البروتينية (راجع الشكل ٤/٢٠)•

$H_2N-CH(R)-C(=O)-OH + H-N(H)-CH(R')-C(=O)-OH \xrightarrow{-H_2O}$

$H_2N-CH(R)-C(=O)-NH-CH(R')-C(=O)-OH$

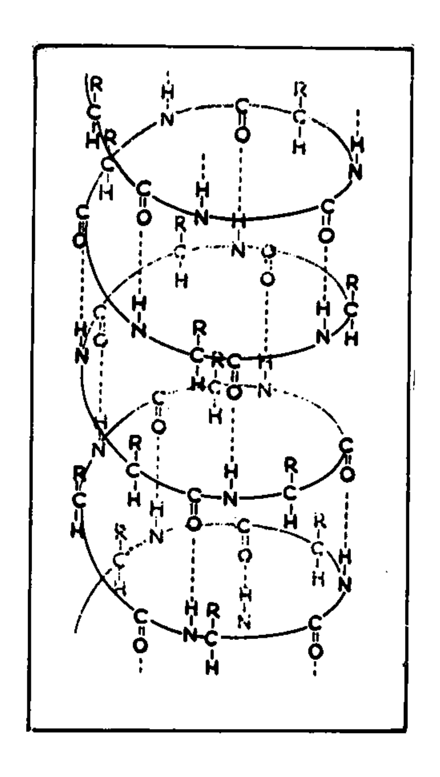
R, R' = Side-chain groups

الشكل ٢/٢٠ ـ هضميتيدة ثنائية• A dipeptide

أما المرحلة الثالثة للترتيبة الثلاثية الابعاد فهي الكيفية التي تنعطف بها سلسلة البولي هضميتيد وتتحوى وتلتف حول نفسها في شكل معين تصطف معه مجموعات السلسلة الجانبية لحوامض امينية مخصوصة في التوجه المضبوط تماماه عندما تنطوي سلسلة البولي هضميتيد، تجنح الى دفع المجموعات القطبية الى الخارج حيث ترتفق هذه بجزيئات الماء، وسحب المجموعات اللاقطبية الى الداخل فتقوم هذه بتشكيل التفاعلات المنافرة للماء، وبالنتيجة تفضي هذه العملية الى شكل كروي للبروتين له باطن شبه دهني وسطح قطبي وايوني • (أنظر الشكل ٢٠/٥)•

الشكل ٢٠/٣ ـ هضميتيدات متحدة برابط من ثنائي الكبريتيد ، واربطة هيدروجينية•

يوجد مستوى رابع من التنظيم للبنية البروتينية ، وهذه هي المرحلة الرابعة • هنا، بدلا من سلسلة بولي هضميتيد مفردة ، بوسع عدة بولي هضميتيدات، أما مماثلة أو مختلفة ، كل منها مع بنياتها الاولية والثانوية والثالثوية، من الارتفاق في بنية منظمة تملك خواصا ونوعيات لا تبديها أي من الوحدات المونومرية•



الشكل ٤/٢٠ ـ بنية لولب الفا للبروتينية •

كانت الخاصية الرهيبة للانزيمات التي واجه العلماء مشقة عظمى في تفهمها هي كيفية تمكنها من تنفيق التفاعلات بهذه السرعة ولتفاعل واحد نوعي فقط. قام اميل فيشر (Emil Fischer) ، الكيميائي الالماني الذي اوضح طبيعة رابط الهضميتيد في عام ١٩٠٢، بتحري هذه المسألة • وعندما اكتشف ان الخميرة تنمو على الايسومردي (D-isomer) للسكر انما ليس على الايسومر ايل (L-Isomer) ارتأى أن لابدمن وجود طريقة يتمكن بها ايسومر واحد فقط من جزيئة السكر من الدخول أو التراكب تماما في الانزيمة اشبه

كثيرا بتراكب المفتاح في القفل. فأصبحت هذه فرضية القفل والمفتاح لشرح التفاعل النوعي بين الانزيمة ومادتها السفلية (substrate) ، أي الجزيئات التي تعمل عليها الانزيمات .

في عام ١٩١٣ قام ليونور ميخـائيليس (Leonor Michaelis) ومود منتون (Maude Menton) بالتوسيع على فكرة القفل والمفتاح لفيشر، وطرحا ان النوعية التخصصية العالية للانزيمات تنشأ من قيام الانزيمة بتوفير موقع في سطحها تتمكن جزيئة من المادة السفلية من الارتباط به بكيفية دقيقة وصحيحة فتشكل بذلك شبيكة وسيطة بين الانزيمة والمادة السفلية . ومتى ما تتكون الشبيكة تقوم المجموعات التفاعلية في الانزيمة بتنفيق التفـاعل الكيميائي المطلوب على المادة السفلية.

عندما تقدمت كيمياء البروتين الى حيث امكن معه تشخيص الحوامض الامينية الكائنة في الموقع الفعال بسياقهـا الاولي، اكتشف البـاحثون ان الحوامض الامينية المشاركة كانت في العموم بعيدة عن بعضها البعض تماما في موضعها في سلسلة البولي هضميتيد الطويلـة . وبدا الآن واضحا لماذا تطورت الانزيمات الى هذه الاحجام الكبيرة للغاية . لقد كانت ذلك بحكم الضرورة . يتم تمثيل سلاسل البولي هضميتيد كسياق طولي من فضـلات الحوامض الامينية ، لكن لما كانت وظيفة الانزيمات تتوقف على شكلها الثلاثي الابعاد لكي تتمكن من تمييز المادة او السطح السفلي وتجعل المجموعـات موجهة بدقة للموقع الفعال ، فانه بوسع سلسلة الحوامض الامينية تحقيق هذا فقط بامتلاكها بوليمرا طويلا بما يكفي ليتسنى تعويجه في شكل مكبب او كريي (globular) .

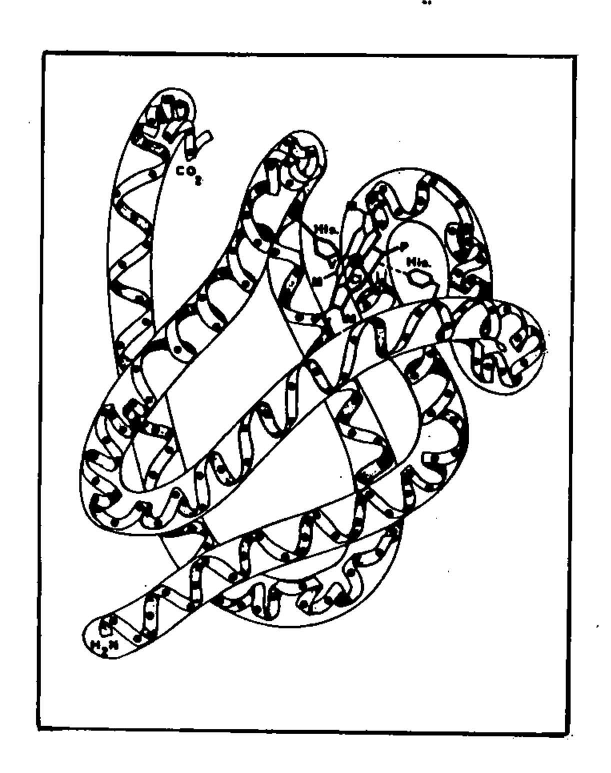
لم يمكن التثبت من البنية الثلاثية الابعاد التامة لأية أنزيمة حتى عـام

١٩٦٦. وهذه انزيمـة كان الكزاندر فلمينك (Alexander Fleming) أول من لاحظها في عام ١٩٢٢، وفليمنك هذا هو مكتشف البنسلين. اثناء عمله في لندن اصيب فلمينك بزكام اضطره الى ملازمـة الفراش، وبدافع طبيعتـه الفضولية الاستطلاعية ، استغل هذه المناسبة لوضع قطرة من مخاط أنفه في زرعة من البكتيريا. وبعد مرور بضعـة ايام وجد، لشدة دهشته ، ان البكتيريا الاقرب الى قطرة المخاط كانت قد أكلت وأختفت. وأدرك فليمنك آنذاك ان استهلاك البكتيريا يعزى الى أنزيمة ، ولما كان بوسع هذه الانزيمة اذابة الخلايا البكتيرية ، أطلق عليها اسم الليسوزيمة lysozyme= ذوبزيمة).

ان الليسوزيمات واسعة الانتشار وقد وجدت في اعضاء عـديدة وفي خلايا وبلازما الدم، وفي اللعاب والحليب، والدموع، وآح أو ابيض البيض. وليسوزيمة آح او زلال البيض هذه ، التي قام بالتثبت من بنيتها الاوليـة منفصلا بيير جوليه وزملاؤه[٢] (Pierrp Jollès) بجـامعة باريس ، وروبرت في كانفيلد[٣] (Robert E. Canfield) بكلية الطب والجراحة بجامعةكولامبيا، هي بولي هضميتيدة مفردة تتألف من (١٢٩) وحدة فرعية حامض امينية. وبما انه يمكن فض او فتح واعادة طي جزيئة الليسوزيم بسرعة وسهولـة ، فانه تسنى التثبت من قدرتها التحفيزية (catalysis) ونوعيتهـا (specifiicity) وايضا بنيتها الثلاثية الابعاد بواسطة هذه الفضلات فقط.

ان وظيفة الليسوزيمة هي شطر رابط معين من مخطـوبولي سكاريدة ((mucopolysaccaride) و ميوكوبولي سكاريدة ، وهذه سكرة مشتبكـة طويلة السلسلة تشكل أحـد مكونـات جدران الخلايا البكتيرية ، ويتـم الانشطار بتحفيز تحلمؤ رابط كاربوني اوكسجيني (C-O) . أما كيف تتمكن الليسوزيمة من فلق هذا الرابط النوعي فأصبحت مادة البحث المستهدفة في تحريات قام بها ديفيد فيلبس (David Phillips) وآخرون[٤] في المعهد الملكي

بلندن في عام ١٩٦٠. كان الهدف هنا رسم البنية الثلاثية الابعاد لليسوزيمة بتفاصيلها الذرية بأستخدام أسلوب الكريستالوغرافيا للاشعة السينية. بهذا الاسلوب يتم تسجيل انماط حيود الاشعة السينية ، ويتم تحصيل صورة الذرات في الجزيئة بواسطة الاحتساب[٥]. (ملاحظة: يمكن تسديد المجاهر للامواج الضوئية او حزمة الالكترون ، لكن لم يتم بعد ابتكار اية وسيلة لتسديد الاشعة السينية في فصمة او صورة (image)).



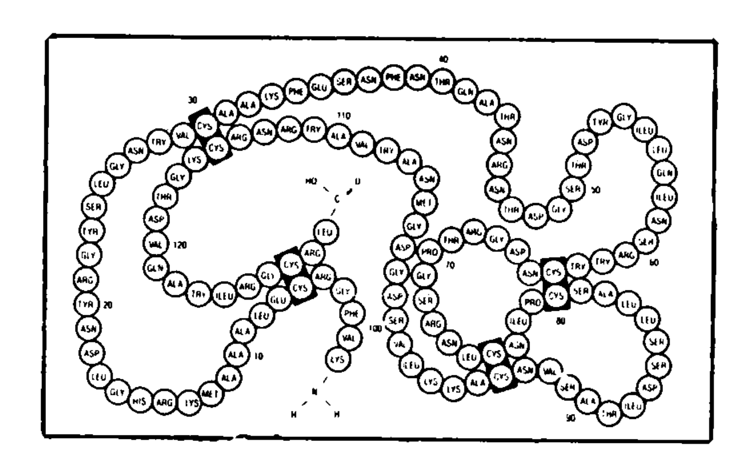
الشكل ٥/٢٠ ـ رسم ايضاحي للبنية الاولية والثانوية والثلاثية لبروتينة (ميوغلوبين). والنقاط تمثل الالفا كربون للحوامض الامينية.

تتضمن جزيئة الليسوزيمة زهاء (١٩٥٠) ذرة. استلزمت مهمة التثبت من البنية الثلاثية الابعاد للانزيمة التحقق من جميع أو تقريبا جميع مواضع هذه الذرات. في عام ١٩٦٢ تمكن فيلبس من الحصول على صورة منخفضة الوضوح للبنية من (٤٠٠) حيودات قصوى وشاهد الشكل العام للجزيئة. كان قد أدرك أن بلوغ هدفه لن يكون سهلا، لكن ترتيبة سلسلة البولي هضميتيد كانت أكثر تعقيدا حتى من توقعات فيلبس.

بعد ثلاث سنوات ، بعد تطوير اساليب امضى واكثر كفاءة لمقايسة واحتساب البيانات ، وبعد استخدام زهاء عشرة آلاف (١٠٠٠٠) نمط حيود، تم الحصول على صورة . وفي هذه المرة كان الوضوح عاليا بما يكفي لرؤية وتمييز العديد من المجموعات الذرية ، ووجد فيلبس وزملائه ان الجزيئة العملاقة تألفت من ثلاثة اقسام من لولب الفا، وطولين من سلسلة البولي هضميتيد متوازيين في اتجاه معاكس مع عطفة أو ثنية دبوس الشعر في السلسلة ، وطيات أخرى غير منتظمة للغاية يتعذر وصفها بايجاز. كانت نتيجة هذا التجمع والتحوي لسلسلة البولي هضميتيد بنية تشكل جناحين يقعان على زاوية من بعضهما، واستحالت الثغرة بين الجناحين الى شق عميق يمتد على احد جانبي الجزيئة . شكل هذا الشق الموقع الفعال للانزيمة والفجوة التي تتراكب فيها المادة أو الطبقة السفلية.

وبدراسة التفاعل بين الليسوزيمة وثمانية سكاكر امينية مختلفة تمكن فيلبس من ايضاح ان الموقع الفعال (active site) كان مربوطا بأربطة هيدروجينية تتألف من ست فضلات من سكر اميني عارية تقع على الطبقة السفلية . والحوامض الامينية العديدة التي تبطن الشق والمسؤولة عن ربط الطبقة السفلية بالانزيمة مبعثرة في منطقة واسعة على امتداد السلسلة . ان الترتيبة المفضلة التي يمكن فيها مراكبة نموذج من الطبقة السفلية للانزيمة

في الشق تضع الرابط الذي يتحلمأ مباشرة بين مجموعة الكربونيل من أحــد حوامض الاسبرتيك في الموضع (٥٢) ومجموعة الكربوكسيل من أحد حوامض الغلوتاميك في الموضع (٣٥)• وقد بينت المشــاهدات البنيوية ان هــذين الحامضين الامينيين هما المشاركان في آلية فعل الليسوزيمة•



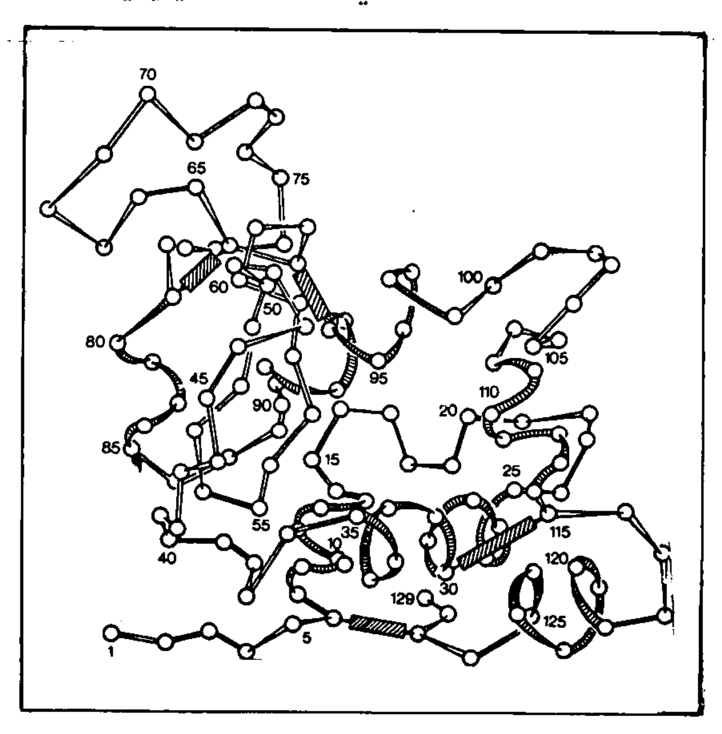
الشكل ٢٠/٦ ـ سياق الحوامض الامينية لليسوزيمة زلال البيض

توضح الليسوزيمة بالمثال كيف تتمكن سلسلة مفردة من البولي هضميتيد، لها طول كاف وتضم تنويعة من الحوامض الامينية ، من خلق شكل ثلاثي الابعاد ذي سطح وتوجيه صائب للحوامض الامينية تجعلها عاملا تحفيزيــا متناهيا في النوعوية • تبدلت الجينات السلف التي تترجمت الى هضميتيدات في اثناء نشأة الانزيمات، تبدلت بالطفرة من خلال الازدواج والاستبــدال تكرارا وافضت الى تحسين الانزيمات القديمة وادخال أخرى جديدة ضمنياء لم ينشأ كل صنف من الاصناف المــائة الف (١٠٠٠٠٠) أو حواليهــا من الانزيمات الموجودة في جسم الانسان منفصلا عن الاصناف الاخرى، وانمــا نشأت جميعها من الجينات البدائية القلائل التي ساهمت في تكوين الحياة•

وبهذه الطريقة تم الاحتفاظ بالمعلومات لتنشئة سياقات تـامة من الحوامض الامينية واستخدامها لتصنيع انزيمات جديدة فيما اصبحت البروتينات اكبر حجما واكثر تعقيداء

ظلت آلية التبدل بالطفرة توسع اعـداد وأدوار الانزيمـات وكذلك البروتينات الأخرى طوال نشأة وتطور الحياة • وكلما يتم التثبت من الكيمياء التفصيلية للمزيد من البروتينات بالاساليب العصريـة ، كلما تنكشف لنـا عملية النشوء بمزيد من الوضوح• وقد اكتشف ان سيـاقات الحوامض الامينية في الليسوزيمـة واللبن البومين أو اللاكتالبومين (lactalbumin) وهو أحد البروتينات الرئيسة في الحليب ، مماثلة لكن وظـائفهما مختلفة• وفيما تقـوم الليسوزيمـة بفلق رابط غليكـوسيدي بيتا واحـد اربعـة (B-1, 4-glycosidic) بين السكاكر الامينية في جدران الخلية البكتيريـة ، يقوم اللبن البومين الفا (a-lactalbumin) بتسهيل او تمهيد مهمة تمثيل رابط غليكوسيدي بيتا واحد اربعـة بين الغلـوكوز والغـالاكتوز (galaetose) لتكوين اللبنوز (lactose) المعروف عاديا باسم سكر الحليب• يملك اللبن البومين الشكل العام للجزيئة ، مع الموقع الفعـال مستبقى ، ولكنه يضـم لثريونين (threonine) عند موضع حامض الغلوتاميك الفعـال تحفيزيا في الليسوزيمة • على ما يظهر تتجت جينات الليسوزيم واللبن البومين من تناسخ الجين في حوالي ما قبل ثلاثمائة وخمسين (٣٥٠) مليون سنة في زمن تشعـب السلالة البرمائية من الفرع الذي أدى الى نشوء الزواحف والاطيار والثدييات• وربما ان البروتينة السلالية السلف كانت تقوم بنفس الوظيفة التي تقوم بهـا الليسوزيمة اليوم، انما اللبن البومين اصبح اكثر تخصصا وهو يوجد اليوم فقط في الاثد المرضعة[٦]• (أثد:ج ثدي)•

للانزيمات صفتان جزيئيتان تسبغان عليها قدرات رهيبة مذهلة ، همـا موقع فعال يقوم بالتحفيز، ومكوّن او مقوم بروتيني (protein component) يقوم بخلق الشكل البدني أو المادي الذي يتقبل الطبقات السفلية النوعية . لم تكن الخلية البدائية الناشئة عن الكيميائيات ما قبل الحيوية لتملك القدرة على تمثيل بولي هضميتيدات كبيرة ولا الدقة النوعوية التي تملكها الانزيمات المعاصرة . فلابد ان كفاءة الانزيمات تطورت بفعل الانتقاء من خلال تطور البروتينات وازديادها في الحجم والارتقاء، غير أن عملية التحفيز كانت ضرورية لتتيح للخلية الارتقاء فوق السواد العادي للتفاعلات الكيميائية.

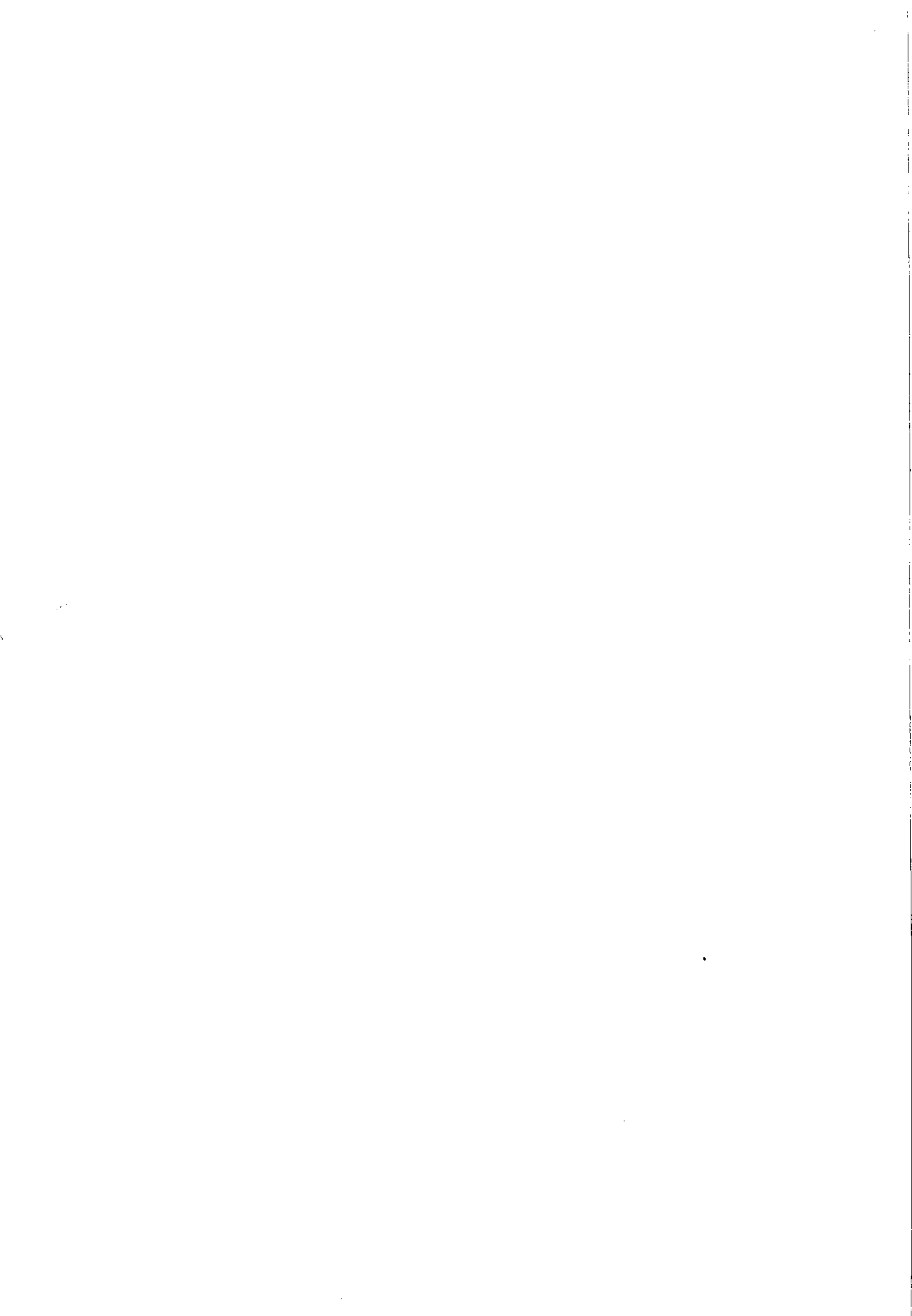


الشكل ٧/٢٠ ـ جزيئة الليسوزيم. المستطيلات المخططة قطريا تشير الى جسور ثنائي الكبريتيد الرابطة لاجزاء من سلسلة البولي هضميتيد . أما الاقسام الاخرى المخططة باطنيا فتشير الى لولب ألفا.

والانزيمات التي تتألف من سلاسل البولي هضميتيد فقط تقع في الاقلية، فان معظمها تتضمن في موقعها الفعال مجموعة من الانزيمات المساعدة (coenzymes) تقوم بوظيفة التحفيز. توجد مواد كثيرة من شأنها تحفيز التفاعلات الكيميائية كأيونات المعادن المتعددة التكافؤ، ومشتقات الايميدازول (imidazole) وبعض المركبات اللامتجانسة الدائرية (heterocyclic)، فتحتوي مجموعات كبيرة على هذه المكونات الثانوية المساعدة لانشطتها . وهذه الانزيمات المساعدة هي محفزات او عوامل تحفيز لاصناف معينة من التفاعلات الكيميائية لكن بدون المكون أو الجزء المكون (component) البروتيني الملازم، انما ليست محفزة لجزيئات عضوية معينة وتنقصها النوعوية الضيقة للانزيمات.

بدأت الحياة من تجمع للمواد في البيئة البدائية، ولم تكن توجد آنذاك اية بروتينات ما قبل الحيوية، لكن الخلايا الناشئة اتخذت بكيفية ما آلية خلوية بسيطة أطلقتها في طريق تمثيل البروتينات بهدف الرفع من القدرة التحفيزية. يوجد ما يحمل على الاعتقاد بأن هضميتيدات ما قبل الحيوية كانت متوفرة(٧)، وعلى ما يظهر بدأت الخلايا البيولوجية بمحفزات مشبوكة بهضميتيدات صغيرة نسبيا كانت متواجدة في البيئة.

ان الفريدوكسين من اوضح الامثلة على انزيمة بدأت صغيرة وتطورت بالحجم والقدرة على مر الدهور . هذه البروتينة الحديد-كبريتيدية جوهرية الضرورة لاختزان الطاقة الملتقفة من ضوء الشمس ونقل الالكترون . وبحسب رأي دايهوف(٨) ربما ان الفريدوكسين السلف كان تشبيكة من كبريتيد الحديد الثنائي التكافؤ مع هضميتيدة تتألف من اربعة حوامض امينية هي: الالانين ، والغلايسين، وحامض الاسبرتيك، والسيرين. هذه هي اربعة من الحوامض الامينية الاكثر شيوعا المتكونة في تجارب الافتعال ، ويتم انتاجها بسرعة وسهولة بتسخين سيانيد الامونيوم.



الفصل الحادي والعشرون ـ تجبير الجينات

ربما لم يكن التواجـد ما قبل البيولوجي لبولي هضميتيـدات كبيرة ضروريا لنشأة خلية حية ، لكن البولي نووتيـدات كانت بالحتم جوهريـة الضرورة • من الصفات الاساسية للمنظومات البيولوجية التي تجعل الحياة ممكنة هي تناسخ حوامض النوويك وترجمة بنياتها الى بروتينات• تبقى جميع المحاولات المبذولة لابتكار منظومات تكاثرية غير مبنيـة على حوامض النوويك وكان يمكن ان تكون قد سبقت المنظومات البيولوجية الى التواجد، غير مقنعة• ويبدو انه لن يتسنى حل لغز نشأة الحياة الا عندما يتسنى ابتكار اسلوب يوضح بالمثال المشهود كيف امكن أن تتبلمر النووتيدات في الاحوال ما قبل البيولوجية على الارض البدائية•

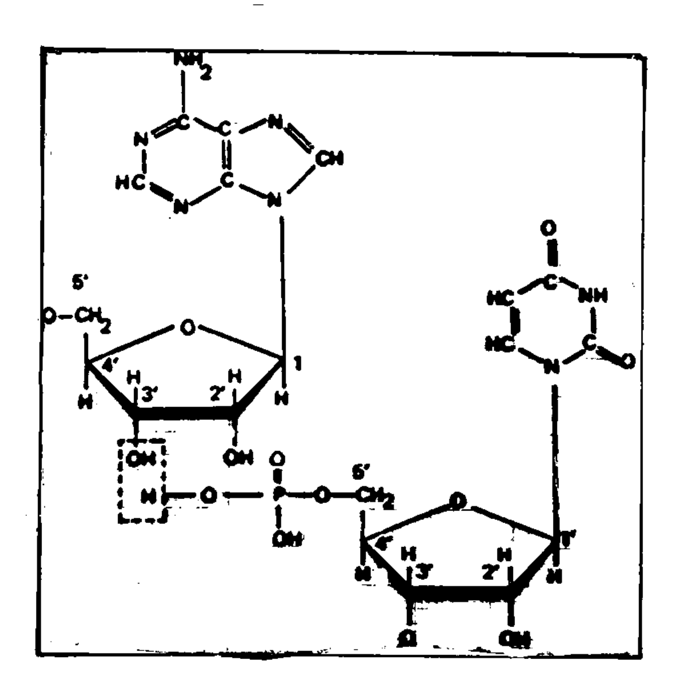
توجد اربعة اصناف رئيسة من النووتيدات هي: الحوامض الادنيليـة (adenylic AMP) ، والغـوانيليـة (guanylic GMP) ، والسيتـديليـة (cytidylic CMP) ، واليورديلية (uridylic UMP) • كل نووتيدة هي وحدة مشيدة من قاعدة بيورين وبيريميدين، وسكرخماسي الكربون (5-carbon sugar) وحامض الفوسفوريك • والنووتيدة التي تنقصها مجموعـة الفوسفـات تسمى بالنووسيدة• في وصف النووتيدات يجري ترقيم مجموعات الهيدروكسيل في الريبوز لغرض تأشير موضع ارتباط الفوسفـات • في حوامض النوويك ترتبط النووتيدات معا في جزيئـات بوليمرية شبه سلسلية بواسطـة جسر فوسفاتي بين موضع (٣ =3') من سكر احدى النووتيدات الى الموضع (٥ =5') من المونومر المجاور ، والنووتيدات التي تشكل الدنأ تختلف عن تلك التي تشكل الرنأ بانعدام الهيدروكسيل في الموضع (٢ =2')

في الريبوز،ولذلك تسمى حصة السكر٢ـــدي اوكسي ريبوز (2-deoxy ribose) وحامض الدي اوكسي ادنيليك (deoxyadenylic acid=d-AMP) ونووتيـــدات الدنأ: (DNA) الأخرى مؤشرة بالبادئة (دي —de)

كانت مهمة الباحثين في دراسات نشأة الحياة ايجاد حـــالة جيولوجيـــة طبيعية كان يمكن فيها ان ترتبط النووتيـــدات نهـــاية بنهايـــة (end-to-end) خالقـــة بذلك حوامض نوويـــك ما قبل البيولوجيـــة • يأتي ليزلي اورجيل (Leslie Orgel) من معهد صولك وجماعة خوان اورو (Juan Oro) من جامعـــة

هيوستون بين الباحثين الذين لا يزالون يبذلون الجهود لايجاد تمثيل لا حيوي للبولي نووتيدات في أحوال افتعالية لبيئة الارض البدائية•

كما بالنسبة الى الحوامض الامينية ان بلمرة النووتيدات هي تفـــاعـــل تجفيفي يتوجب فيه نزع جزيئة من الماء من كل رابط يتكون بين مونومرين اثنين • للاسف، تصبح المسألة عسيرة باللاتفاعلية النسبية لحامض الفوسفوريك وعجزه عن تكوين رابط ايستر مع هيدروكسيل السكر، فلا يمكن تكثيف النووتيدات بمجرد التسخين بسبـــب التحطـــم الحلحـــراري (pyrolysis= تحليل او تفسيخ المادة كيميائيا بالحرارة) الذي يحصل قبل تكون الايستر• وقد جرى تكثيف بعض النووتيدات باستخدام مفاعلات[1] مختبرية، انمـــا بقيت مشكلة اكتشاف الظروف الطبيعية على الارض البدائية التي كان يمكن فيها أن تتكون بولي نووتيدات لا حياتية، واستدعى حل اللغز اكتشاف سر الطريقة التي كان يمكن للنووتيدات أن ترتبط معا بها لتكوين الجينات للخلايا الاولى•



ليست النووتيدات مجرد كيميائيات عادية • فهذه الوحدات الكيميائية المتكونة من ارتباط البيورين أو البريميدين بمجموعة من حامض الفوسفوريك والريبوز تتضمن خواص فريدة تعطيها سلوكا كيميائيا نوعيـا ابتنت عليـه الخلية الحية • واحدى هذه الخواص هي امكانية تنشيط المونونووتيدات الى مشتقات البولي فوسفات بمزيد من الفسفرة ، وبهذه الطريقة يتم خلق وحدات فوسفاتية عالية الطاقة لحمل الطاقة الكيميائية (high-energy phosphate carriers of chemical energy) • لكن مفذاذية النووتيدات هي ان الترابط الهيدروجيني بين الازواج المتنامة القاعدية يقدم آلية صحيحة التوجيـه ضمنية لتصفيف النووتيدات هي بالاصل أساس قدرتها على التناسخ وعلى ترجمة بنيتها من خلال المدونة الجينية•

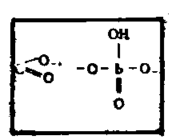
هذا التفاعل بين البيورينات والبريميدينات من خلال الترابط الهيدروجيني هو الاساس الجزيئي للكثير من الانشطة البيولوجيــة للحوامض النوويك. ان الرابط الهيدروجيني ذو طاقة منخفضة تقع في زهــاء خمس (١/٥) طاقة الاربطة الكيميائية العادية لكن مع سلاسل البولي نووتيدات مقترنة بأوهان مزدوجة يمكن أن تكون قوة الشد كبيرة بمجرد فعل الربط المتراكم . كمــا ان الازدواج القاعدي ايضا نوعي للغاية ، فالغوانين يتحــد مع السيتوسين والادنين مع اليوراسيل ، وهو انتظام ذاتي ضمني يلازم الطبيعة الكيميائية للجزيئات.

ان التصفيف أو التوجيه الصحيح للنووتيدات في مواضعها قبل التكثيف خطوة لها اهميتها في عمليات البلمرة البيولوجية واللابيولوجيــة . عندمــا قام كورنبرغ وآخرون[٢] بضرب المثال على انــه يمكن تمثيــل حوامض النوويك خارج الخلية الحيــة باستخــدام الانزيمــة بوليمراز (polymerase) وايونات المغنيسيوم العاملة على ثلاثي فوسفات النووسيد ، اعلنوا ان البلمرة كانت بطيئة جدا الا اذا أضيف اليها حامض نوويك مشعيــل (primer) ليعمــل كقوالب مطبوعة او مرسومة (template) .

كان هذا التراصف الذاتي للنووتيدات هو الذي حاول ليزلي اورجيل وجماعته من معهد صولك استخدامه للاستعــانة به لبلمرة النووتيــدات في محاليل مائية في بحوثهم عن التكون ما قبل البيولوجي للبولي نووتيدات. أما بالنسبة الى النووتيدات فانهم اختاروا استعمال المونوفوسفات لأنهــا أكثر استقرارا من ثنائي وثلاثي الفوسفات وكانت لتكون أكثر انتشارا في الارض ما قبل البيولوجية . وأضافوا حامض البولي يوريديليك كمرسومة يتراصف عليها الاحادي او المونوفوسفات الادنيليك (AMP) لغرض تكثيفه.

لكن لما كانت مجموعة الفوسفات غير شديدة التفاعلية مع هيدروكسيل السكر لتكوين الرابط الاسهافي الثنائي الايستر (diester linkage) حاولوا ملافاة هذه المشكلة باستخدام ثنائي ايميد الكربون (carbodimide) قابل للذوبان بالماء كعامل تكثيف •

ثنائي ايميدات الكاربون هي معاملات (reagents) مختبرية تتشابك مع المجموعات اللاايونية لتشكيل مشتقات منشطة تتفاعل بسرعة مع الهيدروكسيلات أو الامينات (amines) لانتاج الاسترات او الامينات المعنية• على سبيل المثال:



وأبانت نتائج التجربة مع احادي فوسفات الادنيليك (AMP) على حامض البولي يوريديليك مع ثنائي اميد الكربون ان اقتران جزيئات الـ AMP حصل وكان مستحثا بالمرسومة لكن التفاعل كان ضعيفا للغاية • زيادة على ذلك لم تكن الثنائيات dimers = di= ثنائي، و mer كاسعة لتشكيل البادئة ، على غرار (poly-mer) التي تكونت من الترابط الاسهامي (٣، ٥ــ: 3,' 5-linkage: الموجود في حوامض النوويك ، وانما خليطا من ثنائي نووتيدات ذوات اربطة (2,' 5-, and 5,5-)

حاول اورجيل وجماعته سبيلا آخر• بدلا من استخدام المونوفوسفات اللاتفاعلية نسبيا، اعتزموا الآن على استخدام المشتقات المنشطة للنووتيدات كمواد الانطلاق، معللين ذلك ان عندما تقوم المنظومات البيولوجية بصنع حوامض النوويك تستخدم مشتقات ثلاثي الفوسفات كعوامل التفاعل • لكن

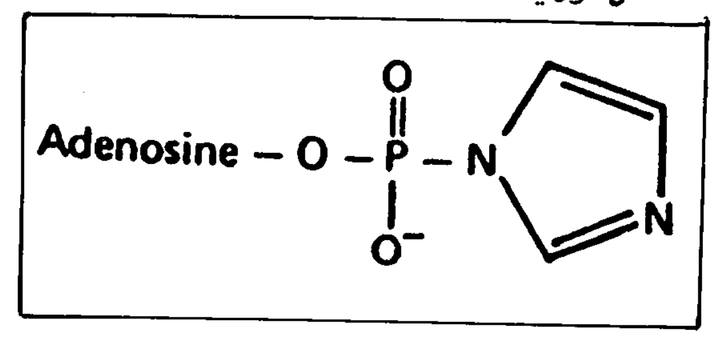
المتعضيات تملك انزيمة لتنفيق تفاعل البلمرة • وعند خلط الأتب معالمرسومة (template) في ماء يتضمن ايونات المغنيسيوم، كوّن الأتب شبيكة لولبية مستقرة مع حامض البولي يوريديليك، ولكن بعد ذلك تحلمأ الى أدب وأمب (ADP . و AMP) • وبدت بولي فوسفات النووسيـــدات مختلة الاستقرار للغاية في الماء ليمكن اعتبارها الجواب، مما دفع البـــاحثين الى التفتيش عن صنف آخر من النووتيدة المنشطة التي يمكن أن تكون قد تواجدت علىالارض ما قبل الحياتية وكانت اكثر استقـــرارا في تلك الاحوال ممـــا هي ثـــلاثي الفوسفات•

الشكل ١/٢١ – فوسفوراميدات A phosphoramidate

اكتشف احد افراد الجماعة وهـــو ايل لورمـــان (L. Lohrmann) اثنـــاء فحص سلوك الامينات، بما فيها الحوامض الامينية ، عند تدفئتها مع الأتب والمغنيسيوم ++(Mg++) في الحالة السائلة وفي الحالة الجافة ، اكتشف مسلسلا من التفاعلات نادرة غريبة• تتفاعل الحوامض الامينية مع الأتب عند تواجد مـــا يكفي من مـــغ ++(Mg++) لتشكيل الفوسفوراميدات (phosporamidates) • كما ان امينات أخرى، بما فيها الامونيا ، والايميدازول

والاثيلين ثنائي امين (ethylenediamine)، ايضا اعطت فوسفوراميدات مع أتب وبولي فوسفات أخرى. تتمثل أهمية الفوسفوراميدات في انها شديدة المقاومة فوق العادة للحلمأة في السائل القلوي مع بقائها مع ذلك منشطة مع مجموعة الفوسفات. اكتشف لورمان(٤) أن مشتق الايميدازول من حامض الادنيليك، وهو خماسي فوسفوراميدازول الادنوسين (adenosine 5'-phosphoramidazole) يتكثف بكفاءة عالية جدا على مرسومة حامض البولي يوريديليك ليفضي الى ثنائيات (dimers) واوليغو نووتيدات اعلى.

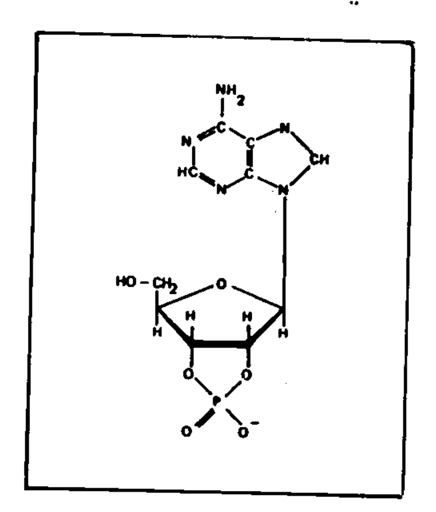
وهكذا نرى تفاعلات الحوامض الامينية او الايميدازول أو امينات أخرى المحفزة بالمغ++ كان بوسعها ان توفر مشتقات النووتيد التي كانت لتساهم مباشرة في عمليات التمثيل ما قبل الحياتي للبولي نووتيدات. والعوامل الوسيطة المنشطة (intermediates) التي تكونت على افضلها في الاحوال الجافة كانت لتتكون في الحالة الصلبة وتتفاعل فيما بعد في تواجد قدر قليل من الماء لتشكل نووتيدات مكثفة.



الشكل ٢/٢١ ـ خماسي فوسفوراميدازول الادنوسين .

قام رنتس (Renz) ولورمان واورجيل(٥) بمزيد من التحري للتفاعل باستخدام ثنائي، ثلاثي- فوسفات الادنوسين (adenosine 2,' 3'-phosphate)

وهو الايستر الباطني الدائري لحامض الادنيليك • تمثـــل ثنائي، ثلاثي،ـ الفوسفات الدائرية الناتج الرئيس في فسفرة النووتيدات المحفزة باليوريا في الحالة الجافة وكانت لتكون شكلا كيميائيا معقولا للنووتيدات على الارض البدائية ، لم تتكثف ثنائي، ثلاثي،ـ فوسفـات الادنوسين على مرســومة حامض البولي يوريديليك مع ايونات المغنسيوم ، لكن عندما استعيض عن الأيونات بمخفزات بسيطة كالغلايسينـاميد (glycinamide) أو ثنائي امين اثيلين (ethylenediamine)أو ثنـائي امين البولي اثيلين، تم الحصول على نواتج جيدة من ثنائي وثلاثي النووتيدات ، ربما ان الوسيط الفعال في التفاعل كان الفوسفوراميدات الذي تكون بالنووتيد والامين•



الشكل ٣/٢١ ـ ثنائي، ثلاثي، فوسفات الادنوسين

حتى هذا الوقت كانت جماعة اورجيل تسعى جاهدة لايجاد السبــل التي كان يمكن ان تتبلمر بها النووتيدات في الســائل في أحوال تفتعـل البحار البدائية • وذلك لأن هذه المرسومة كانت جوهرية للجمع بين المونومرات

للتفاعل • غير ان هذا الاسلوب كان سيستلزم تفسيرا للظهور ما قبل الحياتي للمرسومــة• ثم اكتشــف فرلاندر (Verlander) ولورمان واورجيل[٦]ان المرسومة غير ضرورية في أحوال معينة •عندما ترك خليط التفاعل من ثنائي، ثلاثي،ــ فوسفات الادنوسين مع الامينات الاليفاتية في مستوى يدᵔ قلوي ليتبخر حتى الجفاف والترخم (incubate) بدرجةحرارة (٨٥ــ٩٠°) مئوية حصل تبلمر ذاتي للنووتيد الدائري• تم الحصول على اوليغومرات حتى السداسي (hexamer) بكميات جيدة مع خمسة بالمائة (٥٪) من الناتج أكبر من طول ست وحدات• وكان طول الجينة الاولية قد تمدد الى ست وحدات فرعية•

لم يكن التفاعل المستخدم نووتيدات دائريــة مقصورا على مشتقــات الادنوسين ، عند تسخين ثنائي، ثلاثي،ــ فوسفات السيتدين في درجة حرارة (١٣٨°) مئوية لمــدة يومين حصـــل كلود تابيرو (Claud Tapiero)وجوزيف ناجيفاري[٧] (Joseph Nagyvary)على اوليغومرات بأطوال حتى السداسي في نواتج خمسين بالمائة (٥٠٪) • وهذه درجة حرارة عاليــة ولكنها تقع دون مستوى (١٤٠°) مئوية حيث يبدأ التفسخ البطيء• وكانجيه شكودا (J. Skoda) وزملاؤه[٨] قد اوضحوا قبلا ان ثنائي، ثلاثي،ــ فوسفات اليوريدين أعطــت تبلمرا مماثلا •

وفيما كان كل هــذا دائرا ، كان خوان اورو وجمــاعته في هيوستون يحاولون بلمرة النووتيدات بطريقة أخرى• كما سلف ذكره فقد تبين انمركبات الايميدازول عوامل تفاعل مناسبة لتكثيف النووتيدات• في عام ١٩٦٩ أعلن أو پونكز (O. Pongs) وپي أو پي تسئو (P.O.P Ts'o) وهما كيميائيان من جامعة جونز هوبكنز عن بلمرة خماسيــ فوسفــات الثــايميدين (d-Tmp)

ـــ

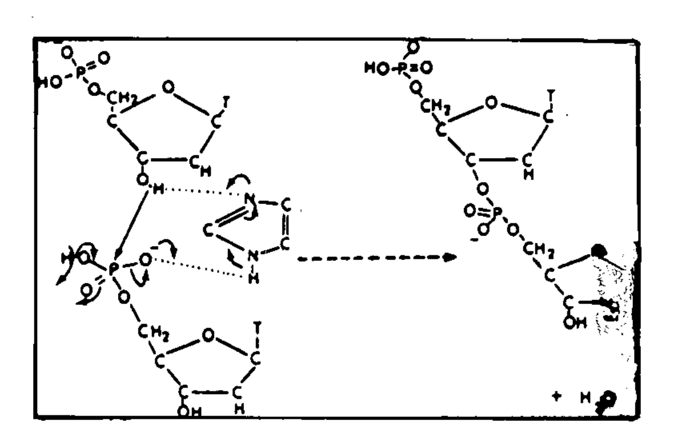
كليا الى اوليغونووتيدات ثلاثية، خماسية،ـ الترابط (3,' 5'-linked) في ناتج يتراوح ما بين اربعين الى خمسين (٤٠ـ٥٠٪) بالمائة باستخدام حامض رباعي (خماسي البروبانيك (4(5)-propanic acid) كمحفز • غير ان احوال التفاعل استدعت اعادة الشطف او التبخير (reflux) لمدة ربع ساعة في المذيب المختبري ثنائي ميثيل فورماميد (dimethylformamide) •ورغم ان الاحوال لم تكن ذات صلة ببيئة جيولوجية ، فان التحفيز والنتائج كانت مماثلة للمحصلةالمتوخاة من تجربة افتعالية•

ان حلقة الايميدازول ، كسلسلة جانبية للهستدين (histidine) وحدة تحفيزية مهمة في العديد من التفاعلات الانزيمية • وبما ان الحلمأة الحامضية تبتدر بالبرتنة، أي ضخ البروتونات كخطوةبادئة، فان الانزيمات التي تحفز الطبقات السفلية بهذه الآلية تحتوي على مورد بروتون ومتقبل بروتون في موقعها الفعال • وبنية الايميدازول المتضمنة ذرتين نيتروجين مشتركتين في ذرة هيدروجين مفردة فيحلقة خماسية الافراد مع اربطة مزدوجة نقالة تملك القدرة على العمل كمورد وكمتقبل للبروتون • والنيتروجينتان في الواقع متعادلتان ، وبنقل الاربطة المزدوجة ، تستطيع الهيدروجيناتالارتكاز على هذه النيتروجينة او تلك• والايميدازول يملك قدرات التحفيز لأنهيتمكن توريد الهيدروجين من نيتروجينة واحدة واعادة التفاف هيدروجينة أخرى بالنيتروجينة الثانية ، وبذلك يعيد توليد البنية الاصلية في العملية•

ويفترض ان عندما يقوم الايميدازول بتحفيز اقتران جزيئتي (d-TMP) يلتقف زوج الالكترون المكشوف على نيتروجينته المفردة هيدروجينة الهيدروكسيل من الجزء التكويني دي اوكسي ريبوز مطلقا بذلك تفاعل سلسلي من تناقل الالكترونات[١٠] • يفقد فوسفات (d-TMP) بروتونته

الحامضية (+H) من جـانب وينقطع اوكسجينهـا اللايوني فيما تتنـاول هيدروجينة الايميدازول من الجانب الآخر لتشكيل الهيدروكسيل (-OH) يمثل النبذ المتزامن لبروتونة وايونة الهيدروكسيل فقـدان جزيئـة من الماء ويرتبط المونومران d-TMP في العملية.

لتعديل تفاعل بونكز–تسئو كنموذج للتكاثف التلقائي للمونونووتيدات، قام جيه ايبانيز (J. Ibanez) وأي.بي كيمبال (A.P. Kimball) وجيه اورو[11] باجراء تجربة هذا في درجات حرارة عالية مع d-TMP والايميدازول في الماء. وعند سطم عوامل التفاعل في أنبوبة زجـاجية وترخيمها بدرجة حـرارة (٩٠°) مئوية لمدة (٢٤) ساعة جاء الناتج بأوليغومرات من اطوال وحدتين الى سبع وحدات مع الترابط الاسهافي الطبيعي ٣، ٥–ثنائي استر الفوسفـات (3'5'-phosphodiester) لكن الحصائل كانت بضع نسب بالمائة في اقصاها.



الشكل ٢١/٤ – الآلية المطروحة لبلمرة d-TMP بالايميدازول.

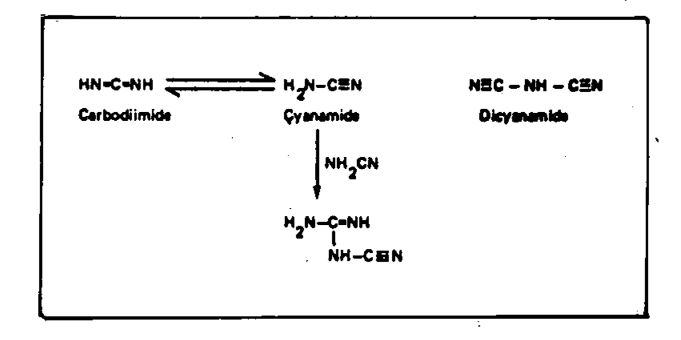
ان المشكلةفي محاولة بلمرة النووتيدات في الماء هيان ازالة جزيئة الماء من العوامل المتفاعلة ينافي الفعل الاجمالي من رجحان المذيب • مع ذلك، توجد عوامل تكثيف كيميائية يمكنها استخراج الماء من المركبات في وسط مائي، وقامت جماعة هيوستون بتحري هذه • ان صنف المركب الذي استخدمته جماعة اورجيل في البداية ، أي ثنائي ايميدات الكربون ، لا يزال يستخدم كوسائل في الكيمياء العضوية منذ عقد مضى• تستخدم هذه المواد كعوامل تكثيف مناسبة ، انما بالاصل استخدمت في المذيبات اللامائية نظرا لسرعة جنوحها للتحلمؤ، لكن بعد أن اكتشف ان مشتقات الملح من ثنائي الكيل امينو ثنائي ايميد الكاربون (dialkylamino carbodiimides) وهي 1-Ethyl-3-3(3-dimethylamino-) (propyl)-carbodiimide hydrochloride وهيقابلةللذوبانفيالماء، تتفاعلاسرعمعاللاايونات ممامعجزيئات الماء• وطريقة التفاعل لثنائي ايميدات الكربون في تفاعلات التكثيف هي اولا التفاعل مع اللاايون لتشكيل شبيكة التي آنذاك تتحلمأ باستخراج الماء من المونومرات• (أنظر المعادلة التالية)• والقدر الكبير من الطاقة السائبة المتحررة من تجفيف ثنائي ايميدات الكربون تدفع التفاعل•

$$\text{Adenosine—O—}\underset{\displaystyle OH}{\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{\underset{|}{P}}}}\text{—O}^- + \underset{\displaystyle N—R'}{\overset{\displaystyle R—N}{\overset{\|}{\underset{\|}{C}}}} \longrightarrow \text{Adenosine—O—}\underset{\displaystyle OH}{\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{\underset{|}{P}}}}\text{—O—C}\begin{matrix}\diagup NH—R \\ \diagdown N—R'\end{matrix}$$

$$\xrightarrow{AMP} \text{Adenosine—O—}\underset{\displaystyle OH}{\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{\underset{|}{P}}}}\text{—O — Adenosine—O—}\underset{\displaystyle OH}{\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{\underset{|}{P}}}}\text{—O}^- + \text{O=C}\begin{matrix}\diagup NH—R \\ \diagdown NH—R'\end{matrix}$$

ان ثنائي اميدات الكربون (carbodiimides) كيماويـات مختبرية ولا يحتمل ان تكون قد تواجدت على الارض البدائية. اما التوتومر (tautomer) من جهة أخرى فهو سيانامید (cyanamide) وهذه مادة كيميائية يعتقد انهـا تواجدت بكثرة على الارض البدائية اثناء تكون لبنات البنـاء الحيـاتية . (ملاحظة tautomer : مماثل كيميائي يقع متوازنا بين شبيهين او ايســومرين isomers ويتفاعل بسرعة لتكوين أي منهما). والسيانامید وثنائيـة (dimer) دایسیاندیامید (dicyanadiamide)الذي يتكون في الســوائل القـاعدية ، والدايسيانامید (dicyanamide) وهــو مشتق آخـر للسيـانيد (cyanide) هما عاملا تكثيف ابسط من الكاربوداي اميدات ولا يستبعـد تواجدهمـا ومساهمتهما في تفاعلات التكثف ما قبل الحياتية في الارض البدائية . يتكون السيانامید بفعل الاشعاع ما فوق البنفسجي على المحـاليل المائيـة مـن سيانيد الامونيوم. ليس التفاعل عالي الكفاءة لكن وجود الهاليد (halide) يؤدي الى تحسين الناتج بآلية ليست مفهومة جيدا . وبالنظر الى أحوال التفـاعل فانه من المعقول أن تكون قد تكونت كميات كبيرة من السيانامید وتوفـرت في الارض البدائية لتعمل كعامل تكثيف.

dicyandiamide



بما ان النــوع الفعــال مــن السيــاناميــد والــدايسيــانديــاميــد (cyanamide, dicyandiamide) هو كاتيون (cation)فان فائدتيهما كعاملي تكثيف اشد فعالية في محلول حامضي بمستوى (سيد ٢) • (أنظر المعادلة التالية)• ربما ليس لمثل هذه المستويات المنخفضة من (سيد) اية صلة جيولوجية لكن التفاعل يحصل ايضا على مستويات من (سيد) اعلى الا انه ابطأ بكثير• عند استخدام السياناميد كعامل مكثف مع الايميدازول كمحفز، امكن تكثيف d-TMP الى اوليغومرات وصل طولها حتى خمس وحدات[١٢]، لكن النتائج من تفاعلات المحلول حتى في درجات حرارة مرتفعة لم تكن مشجعة • كانــت الحصائل منخفضة وبدت احتمالات تمديد تفاعل التكثيف الى أبعد من مجرد بضع وحدات غامضة•

$$H_2N{-}\overset{+}{C}{=}NH \qquad H_2N{-}\underset{+}{\overset{NH_2}{\overset{|}{C}}}{-}NH{-}C{\equiv}N$$

في هذا الاوان اكتشف ان حالة واحدة كانت مؤازرة للبلمرة ، فقد كانت النتائج تأتي أفضل باستمرار كلما تبخر خليط التفاعل حتى الجفاف• وقــدم هذا دليلا الى كيفية امكان حصول بلمرة النوتيدات، ليس في البحار البدائية بذاتها انما في أحوال التجفف في البحيرات المتبخرة وجفاف الاخوار البحرية، أو حتى في جفاف وتحمص محاليل المتفاعــلات المتطشطشة على الصخــور أو المنبسطات الطينية في حواشي الاحواض البدائية•

قــام آي ستيفــن شــروود (E. Stephen-Sherwood) ودي جــي اودوم (D.G. Odom) العاملان مــع اورو[١٣] بتمديــد تفاعل تكثيف الـ TMP

باضافة بعض ثلاثي الفوسفات اليه. استعمل هؤلاء السياناميد كعامل تكثيف مع اضافة AICA كمحفز، وهو أحد مشتقات الايميدازول الوسيط في تمثيل البيورينات من سيانيد الامونيوم. عند تعريض المتفاعلات لاحوال التجفيف وترخيمها بدرجة حرارة (٦٠ـ٩٠°) مئوية تم الحصول على اوليغومرات بلغت حتى اربع وحدات في الطول. والفائدة من خليط النووتيدات هي انحصيلة الاوليغومرات لم تعد تأتي صغيرة وانما فعلا بحدود (٢٥ـ٣٠) بالمائة ، أي أكثر من عشرة اضعاف مقاديرها من استخدام المونوفوسفات بمفردها.

مع ذلك، بالرغم من النجاح في تكوين الاربطة ما بين النووتيدات (internucleotide bonds) في أحوال مشابهة لتلك التي تتواجد على الارض البدائية، الا أن مدى البلمرة بقي ضيقا ضئيلا، وأضيق بكثير مما يمكن معه تصور حصول أي تجمع يؤدي الى تكوين خلية وظيفية . بدا كأنما الطبيعة كانت شديدة الحرص على كتمان سر فعلها العظيم ولم تكن لتدعه يقع الا بعد مشقة بالغة. كيف اذن امكن للبولي نووتيدات ان تبلغ من الكبر ما أعانها على اجتياز عتبة الحجم لتعمل في خلية وظيفية ؟

كانت البحوث على البولي نووتيدات موجهة الى ايجاد الاحوال التي كان من شأنها تنفيق بلمرة النووتيدات الى سلاسل طويلة لتعمل كجينات بدائية، انما النتائج حتى تاريخه كانت قد ابانت انه كان بامكان اوليغونووتيدات بأطوال ست الى ثمان وحدة ان تتكون في الاحوال البدائية ، لكن أحدا لم ينجح في انتاج سلاسل اطول منها بكثير. مع ذلك، فقد نجحت الطبيعة بطريقة ما في خلق بولي نووتيدات ذوات اطوال تكفي لتؤدي في النهاية الى تشغيل آلية التمثيل البروتيني.

هناك الكثير مما يدعو الى الاعتقاد بأن الطرائق الكيميائية التي

استخدمتها المنظومات البيولوجية لم تكن تطورات صدفة ، وانما نشأت من تبني تفاعلات كيميائية عادية • ومغزى هذه النظرة هو ان لما كانت عمليـات الحياة قد تطورت من خطوة الى أخرى في مسلسل متواصل ، فربما انه من الممكن تتبع مسلك النشأة لاكتشاف كنه التفاعلات الكيميـائية التي عملت كطلائع لنشأة العمليات البيوكيميائية التي تستخدمها المتعضيات الحية•

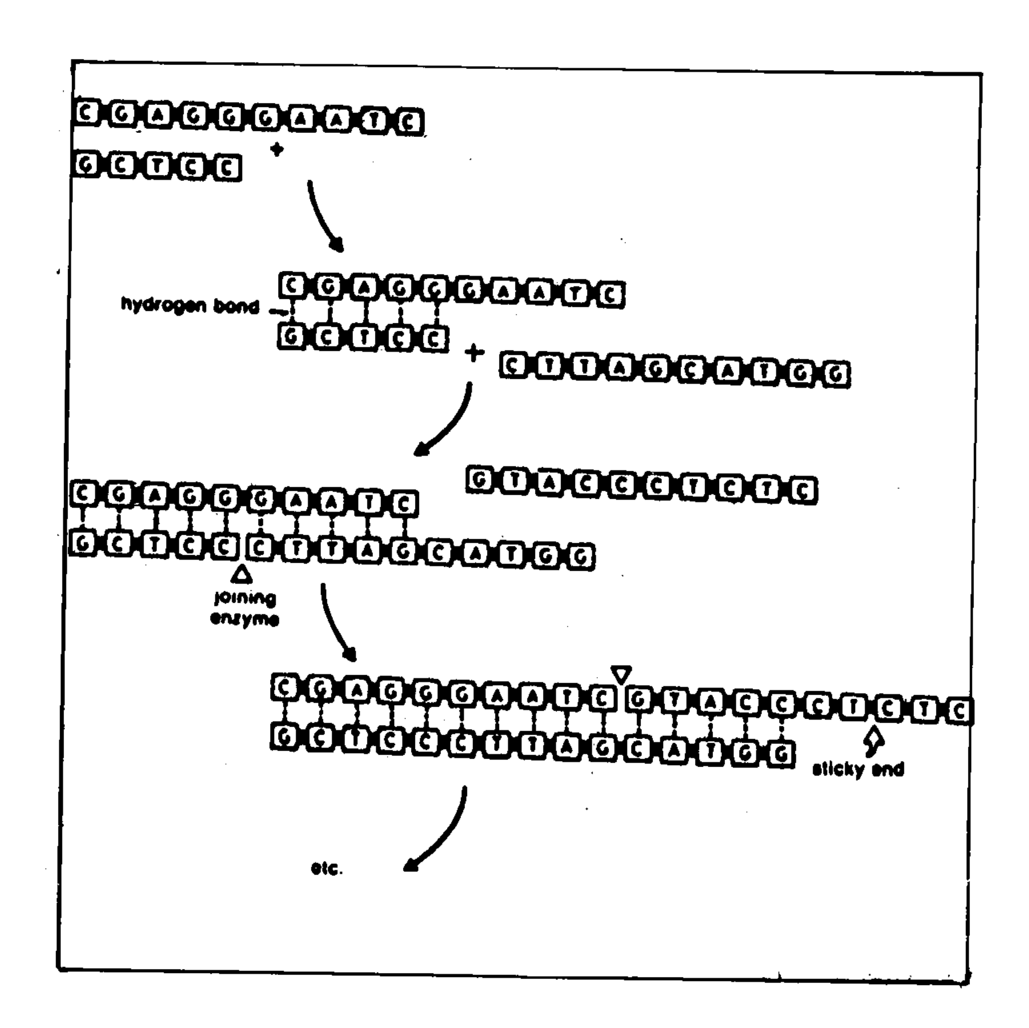
يبدو ان النووتيدات لم تتبلمر من فورها في سلاسل طويلة • لابد انـه تواجد جهاز اتاح نمو السلاسل الطويلة بطريقة نظامية • كما ورد البيان سابقا، يبدو ان التكثف ينال عونا عند توجيهه على مرسومة، رغم انه وجد ان هذا لم يكن شرطا في الاحوال المتجففة• الا انه من الممكن تماما ان تكون البولي نووتيدات الطويلة السلاسل الابتدائية قد نشأت على الارض ما قبل الحياتية بنفس المنوال الذي لا تزال المتعضيات تقوم بتمثيلها به اليوم، أي كجزيئـة مزدوجة الوهن•

عندما تقوم الخلايا المعاصرة بنسخ الدنأ (DNA)تقوم بشطر الجزيئـة المزدوجة الوهن وتكثيف النووتيدات الموجهـة في الاوهان المفردة للدنأ لنسخ الدنأ من جزيئته المزدوجة الوهن بدون سابق ممهد اليه ، وبالاحرى لابد ان الاستنساخ جاء كتتمة استمرارية من الكيمياء ما قبل الحياتية • بعبارة أخرى، ربما ان البولي نووتيدات لم تنشأ كمنتوجـات تكثف مفرد وانمـا كجزيئات مزدوجة الوهن•

كانت المسألة المؤدية الى الجينات الاصلية لاول خلية وظيفيـة ممـاثلة للمشكلة التي واجهت ايج جي خورانا (H.G. Khorana) وزملاءه[١٤]في جامعة ويسكونسن ومعهد مساشوسيتس للتكنولوجيا عند بحثهم عن وسيلة لتمثيل جينة• لم تقم جماعة الباحثين بمحاولة بلمرة جزيئة طـولية مفـردة بتكثيف المونومرات الواحد تلو الآخر بهدف تصنيع جينة تدون للرنأ ناقلة تيروسينية

(tyrosine transfer RNA) بل قامت باعداد (٣٩) شظية طول كل منها (١٠ــ١٥) نووتيدة • تم اختيار الشدف بحيث تمتد قطعة قصيرة لاوليغومر من الآخـر عند جعل الشظيتين المتنامتين تكوّنان تشبيكة مزدوجة الوهن • وبعد ذلك عمل هذا القسم المتمد كجبيرة يمكن بها تشبيك شظية متصلة للاقتران بدنأ الانزيمة ليغاز او وتراز (enzyme DNA ligase) • بهذه الطريقة ، باضـافة اولا وهن واحد ثم آخر تمكن الباحثون من تشييد حامض نوويك مزدوج الوهن كاملا بطول كلي يبلغ (٢٠٧) نووتيدة•

هذه هي الكيفية المحتملة التي ربما جاءت البولي نووتيدات ما قبـل الحياتية بها الى الوجود• تدل نتائج التجارب الافتعالية للاحوال التجففيـة على الارض البدائية ، ولاسيما بوجود مشتقات السيانامید كعوامل تكثيف، على ان اوليغومرات قصيرة تكونت بسرعة من النووتيدات، ولكن لم تتكون اية اوليغومرات طويلة • ومع نشوء تنويعة من الاوليغومـرات بفعل تكرار غمر قيعان البحيرات البدائية وجفافها يبدو من المعقول ان يكون قد تم لاحتفاظ انتقائيا بالاوليغومرات التي كان بوسعها أن تشكل اقوى التشبيكات (أي تلك التي تضم ازواجا قاعدية متنامة)• ومتى ما تراكبت الشدف المتجاورة فانها كانت قد اتخذت موضع الاقتران بفعل دورة التجفيف التالية•



الشكل ٥/٢١ ـ مخطط بياني لتمثيل جينة باستخدام بولي نووتيدات التجبير بطريقة خورانا .

الفصل الثاني والعشرون ـ ((جسيمات الحياة))

رأينا في الفصول السابقة الطريقة التي كان عقلانيا يمكن للهضميتيدات والبولي نووتيدات ما قبل البيولوجية ان تتكون بها على الارض البدائية . فان تراكما من هذه المكونات الكيميائية تجمع ليهيء الخطوة الختامية، ألا وهي التئام الخلية . ان حوامض النوويك والبروتينات لوحدها لا تملك صفة الحياة، لأنها هامدة أو ستاتية بينما الحياة حركية أو ديناميه. فالخلية الحية منظومة عاملة، والانتظام الخاص للجزيئات الضخمة في بنية أكبر تعمل كجهاز ذاتي التحفيز هو الذي يصنع الحياة . وعليه فالوحدة البيولوجية تؤول الى سياق من الاحداث يتم فيها تناول المادة والطاقة لتحويلهما الى مقومات متزايدة التعقيد على التوالي في بنية ذاتية الادامة.

الى هذه المرحلة كانت التجارب المعنية بطرح الامثلة على التصنيع أو التمثيل اللاحياتي للمواد البيولوجية منحصرة في نطاق الاهتمامات الخاصة بالخبراء الكيميائيين. لكن تكون الخلية يرفع نشأة الحياة الى المستوى حيث يكن لكل امرىء أن يشاهدها ككيان ذي خواص المتعضيات المجهرية . فبطريقة ما تمكنت الجزيئات الضخمة التي تكثفت من اللبنات البنائية من الالتئام معا واجتياز العتبة الى الكينونة الحياتية . لقد التحمت في ترتيبة متسقة اتخذت هيئة الخلية الوظيفية . كانت هذه قفزة كمية في الاحداث المفضية الى تكون الحياة، وقد لقيت، بحكم طبيعتها الباهرة، اهتماما خاصا.

جوهريا، جميع المواد تملك خواصا بنيوية تخلق قوى تعاشرية مع مواد أخرى، وتتجمع في تنويعة لا حصر لها من التركيبات اللاشكلية . لكن تراكمات المواد العضوية لا تلتئم رأسا في خلايا وظيفية ، بل تؤول في العموم الى قرارات لا متميزة . فلتشكيل الخلية لابد انه حصل انتقاء للجزيئات لتتراكب معا بكيفية دقيقة وصائبة لتكون الخلية الكلية وظيفية . كانت العقبة

الكؤود ايجاد الطريقة التي سلكتها الطبيعة في جبل المكونات ما قبل البيولوجية في بنية منتظمة تفطرت بهيئة الخلية الحية.

كان الاحتواء الضرورة الابرز في تكون الخلية البدائية . فالمنظومة الحية لا تستطيع الوجود في حالة السيولة السائبة، انما فقط في التلاحم الوثيق لمكوناتها . كانت الحاجة تمس الى غلاف يضم المقومات معا وبنفس الوقت يتيح الوصول الى البيئة المحيطة لتناول المواد الخام وفسح المجال للانقسام اثناء عملية التكاثر . في الظاهر، لزم أن يكون هذا سطح يعزل مقادير من السوائل ضئيلة للغاية عن كميات الماء المحيطة به. فما هي المواد التي وجدتها الخلية الاولية متوفرة لها في جيولوجيا الارض البدائية لتستخدمها كردائها الخلوي تبرز به من الجماد الى الحياة؟

بعد جيل من اكتشاف شفان (Schwann) ان الخلية هي الوحدة الاساسية الجوهرية للحياة ، كان الخبراء عاكفين في المختبرات يحاولون خلق خلية حية من المواد الكيميائية العادية . انما كالسيميائيين القدماء وحلمهم في تحويل المعادن العادية الى ذهب، لم يملك اولئك الباحثون الدراية اللازمة بالكيمياء الاساسية المطلوبة ، وبالنتيجة جرى تصميم نماذج بالاصل لنسخ السلوك البدني الخارجي للخلايا بدلاً من الوظيفية الكيميائية.

في عام ١٨٦٧ أقام الكيميائي الالماني موريتس تراوبه[١] (Moritz Traube) تمكن فيها من تكوين رقائق شبه انفاذية انتشارية من فيروسيانيد النحاس حول بلورات صغيرة من كبريتات النحاس وضعها في محاليل من فيروسيانيد البوتاسيوم . أبدت هذه الكرات الدقيقة التغمدية بعض ملامح النمو واعتقد تراوبه بأنه يمكن استخدامها لدراسة الخواص الكيميائية البدنية للخلايا .

ومر جيل آخر، ثم في عام ١٨٩٢ قام اوتو بوتشلي[٣] (Otto Bütschli) بإعداد نموذج لخلية حية بدلك قطرة من زيت الزيتون بمحلول البوتاس (potash solvation) • تحركت القطيرة الصغيرة المهيجة كيميائيا حول نفسها على نحو مثير والتهمت جسيمات بأسلوب يشبه الاميباء وقام آخرون بالتوسيع على هذه التجربة وخلقوا نماذج مماثلة قامت بتقليد حركات الخلايا وتمثيل طرائق اقتياتها وانقسامها•

تتوجت هذه الخلايا الكاذبة عند منعطف القرن بالتجارب التي اقامها ستيفان ليدوك[٤] (Stéphane Le Duc) الاستاذ بكلية الطب في نانتس • أقام نيدوك تجربة مماثلة لتجربة تراوبة وضع قطعة من كلوريد الكلسيوم المصهور في محلول مشبع من البوتاس وفوسفات البوتاسيوم• فتكون قيض كروي من فوسفات الكلسيوم وفيما استمر كلوريد الكلسيوم يتفاعل أدى الضغط الارتشاحي في الباطن الى تمدد الكييس ، وتمكن ليدوك بتغيير التركيزات واضافة مواد مختلفة من توليد اشكال انتضاحية رائعة شديدة الشبه بالطحالب، والفطر، وأشكال حياتية أخرى، وكان البروفسور شغوفاً بتجاربه لدرجة انه اعتقد بأنه اقتحم آفاق علم جديد واطلق عليه اسم البيولوجيا الاصطناعية (synthetic biology) •

تمادى اتباع بيولوجيا ليدوك الاصطناعية في اقامة التجارب وذهبوا في استنتاجاتهم الى ما يتجاوز ادعاءات المؤسس• كان ذلك عصرا لم يكن تفهم النشاط الاشعاعي فيه قد نضج بعد، واستقبل راديوم مدام كوري كأعجوبة العلم لانقاذ العالم من ويلات الامراض• وباستخدام طاقة الراديوم المحيرة قام مارتن كوكوك[٥] (Martin Cuckuck) بتحويل خليط من الجلاتين والغليسرول والملح الى زرعة من «الخلايا» قيل انها أظهرت جميع ملامح الحياة•

وانقضى جيل آخر قبل امكان ابتكار نموذج واقعي لخلية بدائيـة • طوال النصف الاول من هذا القرن ظل الاعتقاد سائدا ان كيمياء الخلايـا تشبه خواص الغروانيات (colloids) ، والغروانية هي حالة خاصة للمادة تكون الجسيمات فيها منتشرة وعالقة في وسط من طور مختلف، ويمكن أن تكون جسيمات صلبة او سائلة عالقة بطور صلب او سائل او غازي• والجسيمـات صغيرة بالقياس الى مساحة سطحها الواسعة وتقوم بامتصاص الايونات والمواد الأخرى تسبغ بها خواص فريدة على المنظومة• تؤدي الشحنات الكهربائية بباطن المواد أو من الايونات الممصوصة بالجسيمات الغروانية الى منـافرة بعضها البعض والحفاظ على التعلق• ومن المنظومات الغروانية المألوفة هي الدخان والضباب والرهج وايضا الماء العكر•

وبينما هذه الغروانيات هي في العموم مواد لا عضوية تنقصها الألفـة للماء وتبقى جسيماتها منتشرة بتنافر شحناتها الكهربائية توجد غروانيـات من مركبات عضوية تختلف عن هذه تماما • وهذه هي الغروانيات الاليفـة الماء كالجلاتين والالبومين والنشأ التي تبـدو انها تذوب في الماء ولكنهـا لا ترتشح من خلال الغشاء•

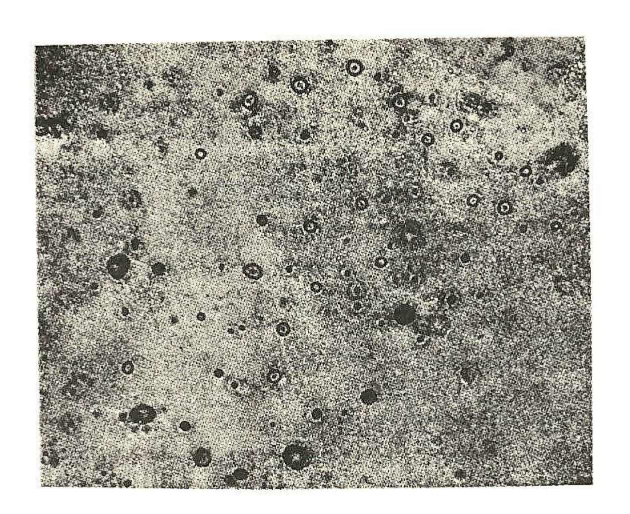
الجزيئات الكبيرة كالبروتينات قابلة للذوبان في الماء لأن ماء التميه أو التميع (hydration) يتجمع بكتل بنيوية حول المجموعات المشحونة والقطبية مستوعبة جزيئات البروتين في اشكالها المتوحدة بفعل التذاوب (solvation) واذا جرى تغيير الاحوال الى حد كبير بالتسخين مع تبديل مستوى سن يد أو القوة الايونية، أو باضافة مواد كيميائية كاليوريا التي تصدع أو تمزق بنية الماء، تنفض" سلسلة الهضميتيد منفتحـة وتكون لزجة • تتخثر جزيئـات البروتين بالتكتل معا وتصبح غير قابلة للذوبان (نزع الطبيعة : denaturation

يمكن عزل الكولاجن (collagen) ، وهو البروتين الليفي الموجود في الانسجة الرابطة أو الضامة ، وربما أغزر انواع البروتين الحيواني، يمكن عزله كمركب بلوري، ولكنه يتحول الى جلاتين فور نزع طبيعته، فيكون القاعدة الغروانية للاصماغ.

وبما ان بروتينات البلازمة كانت خلال العشرينيات من هذا القرن تعتبر بأنها تتواجد بحالة غروانية فقد ساد الاعتقاد آنذاك بأن الجواب على مسألة نشأة الحياة يكمن في الكشف عن الطريقة التي تمكنت البنية الغروانية بها من القيام من الاحوال الجيولوجية . تنامت المعلومات لمثل هذه التجربة من ظاهرة لوحظت للمرة الاولى في عام ١٩٢٧[٦] وكان هندريك جي بونكنبرغ ديونك (Hendrick G. Bungenberg de Jong) من جامعة لايدن يقوم بدراستها وقدم تقريرا عنها في عام ١٩٣٢.

كان بونكنبرغ ديونك قد لاحظ ان الغروانيات الاليفة الماء كثيرا ما كانت تلقائيا تشكل طورين اثنين. انفصل راسب سائل في المواد الغروانية من طبقة فوقية خالية من الغروانية واحتفظ بالتوازن معها، فأطلق على الطور اسم انعقاد الانفصال (separation coacervation) وعلى الجسيمات الغروانية اسم الانعقادات (coacervates) . في بعض الحالات، لم تستقر المادة الغروانية من السائل . انما بقيت معلقة كقطيرات دقيقة في الماء، وبالنتيجة كانت هذه قطيرات من السائل انفصلت من الوسط المحيط بطبقة رقيقة من الغروانيات الاليفة للماء.

وجد البيوكيميائي الروسي اوپارين في دراساته لنشأة الحياة وجه تشابه بين الانعقادات والخلايا الحية ، وأورد في الطبعة المنقحة من كتابه والصادرة في عام ١٩٣٦[٨] مقارنة بين هذه القطيرات الغروانية وبين ناتج



الشكل ١/٢٢ – انعقادات تم اعدادها من الجلاتين والصمغ العربي.

عصر البروتوپلازم من خلايا النبات تبين ان بالرغم من القوام السائل للبروتوپلازم فهو لا يختلط بالماء ويبقى كقطيرات صغيرة عائمة في الوسط المائي.

أعد اوپارين اصنافا مختلفة من الانعقادات وأجرى دراسة لخواصها الفيزيائية والكيميائية . في الاحوال المقننة كانت الانعقادات تتكون بسرعة من البروتينات مختلطة مع بوليمرات طبيعية انتقائية أخرى . وعند خلط محلول من الصمغ العربي، وهو بولي سكاريد تجاري من شجرة الاقاقيا، بمحلول من الجلاتين في مستوى (سيد تحت ٨ر٤) حصل الانعقاد . في مستوى (سيد ٨ر٤) وهي نقطة تعادل الجهد الكهربائي للجلاتين (أي تعادل الانيونات والكاتيونات) اصبحت الشحنة في البروتين موجبة بينما بقيت سالبة في الصمغ العربي. التأم البوليمران ذوا الشحنتين المتضادتين وكونا قطيرات من انعقادة شبكية الجلاتين – الصمغ العربي. لقد تمكن اوپارين، باختيار مستويات سيد تقع بين نقاط تعادل الجهد الكهربائي للبوليمرات، من تشكيل عدد كبير من الانعقادات ذوات خواص كيميائية مختلفة . كما تسنى ايضا اخذ

انعقادات من الجلاتين وليسيثين البيض (egg lecithin) ، ومن البروتينات القاعدية كالهستون وأحد حوامض النوويك ، وتشكيلات أخرى مماثلة•

أبدى اوپارين انه من الممكن ان تكون ظاهرة الانعقاد هذه قد عملت كآلية بدائية لتكوين الخلية الاولية • ثم ان الانعقادات تملك حدا (boundary) يفصل بين البيئة والوسط المحيط، اضافة الى خواص أخرى تنفرد بها ، كما انها تبدي العديد من الصفات المورفولوجية للمكتنفات الخلوية كالفجوات•

يمكن أن يحصل الانعقاد في محلول مخفف للغاية ، في تركيزات متدنية لا تتجاوز واحد بالالف (١٠٠ر٠٪)[٨]، وتظهر الانعقادات خاصية الغروانيات في قدرتها على امتصاص المواد • كما ظهر ايضا ان الانعقادات المعدة من الصمغ العربي وكبريتات البروتامين (protamine sulfate) تمتص من الوسط المحيط (surrounding medium) حلالة بكتيرية (bacterial lysate) يتم اغناؤها بأنشطة الكاتالاز (catalase) • وبوسع الانعقادات من الصمغ العربي والهستون أو الجلاتين تركيز الغشاء من المحلول بثلاثة اضعاف ونصف (٥ر٣)• وعندما تكون البيتا اميلاز (B-Amylase) موجودة تتناولها الانعقادة هي ايضا وتقوم الانزيمة بحلمأة النشأ• كما أعلن عن العديد من التجارب الأخرى كانت قد أثبتت ان الانعقادات تعمل كخلايا بدائية[١٠]• وعلى سبيل المثال، اناضافة اوكسيدو-ريداكتاز البكتيري (oxido-reductase) الى خليط انعقاد يتضمن (NADred = ناد مختزل) اسفر عن اختلاق منظومة اكسدة ـ اختزال لا هوائية بسيطة (simple anaerobic oxidation-reduction system) علل اوپارين انه تواجدت على الارض ما قبل البيولوجية مواد بوليمرية قامت بصنع الانعقادات التي كان يمكن أن تعمل بمثابة طلائع للخلايا الحية الاولى • انما في الجوهر جميع التجارب الافتعالية لاظهار خواص

للانعقادات شبيهة بخواص الخلايا كانت تتم باستخدام انعقادات معــدة من بوليمرات بيولوجية مناسبة . ومثل هذه التجارب الافتعالية تكون ذات مغزى فقط اذا كانت قد أجريت بمقومات ما قبل بيولوجية مشروعــة . فضلا عن هذا، ان الطبيعة الغروانية للانعقادات تجعلها سريعة التأثر بتغيرات مستوى پهـ وتركيزات الملح. مع ذلك، كانت انعقادات اوپارين ، وبقيت، مـن الفرضيات العلمية المتقدمة والمعقدة للغاية حول أصل الخلية الاولية.

هناك نماذج أخرى طرحت حول أصل الخلية . في عام ١٩٤٢ قام أي ايل هرارا[11] (A.L. Herror) باعداد ما أسماه بمنافرات الكبريت أو الكبريغوبات (sulphobes) باذابة ثيوسيانات الامونيا في الفورمالديهايد ونشر المحلول في طبقة رقيقة . وبعد مرور بضع ساعات اعلن عن مشاهدة بنى مجهرية تبدي أنشطة مماثة لانشطة المتعضيات الحية . ورأى هيرارا في هــذه الاشكال الدقيقة التنويعات التي تتكون مع الاميبا واشكال الانسجة واعتقد أنه ربمــا كانت ذات أهمية في افتعال أصل الحياة بقوله ان الاحوال في البراكين كانت تؤدي الى انتاج ثيوسيانات الامونيوم بتفاعل معلوم من الكبريت.

لم يكن حتى ما بعد تجربة ميلر في عام ١٩٥٣ ان قام باحثون آخرون بتقديم نماذج من الانتظام الخلوي وما قبل الخلوي. فقد تمكن كارل غرسنبــاخر (Karl Grossenbacher) وسي أي نايت[12] (C.A. Knight) من عزل ليس حوامض امينية فحسب وانما الهضميتيدات ايضا اثناء قيامهما بالبحوث على تجربــة الشرارة .ثم اثناء قيامهما بفحص الطبقة الصلبة وعينات من الســائل الكدر المأخوذة من خليط التفاعل ، اكتشفا اجساما دقيقة صلبة تراوحت بالحجــم من حوالي (٠ر٠٨ــ٠٠٥ر٠) ميكرومتر واقل . تضمنت هذه الكريات الدقيقة الواقعة في نطاق حجم الفيروسات ، مقادير كبيرة من الفلزات وحــوامض امينية ومركبات مماثلة. لكن الباحثين أبديا ان الكريات كانت سيليكات

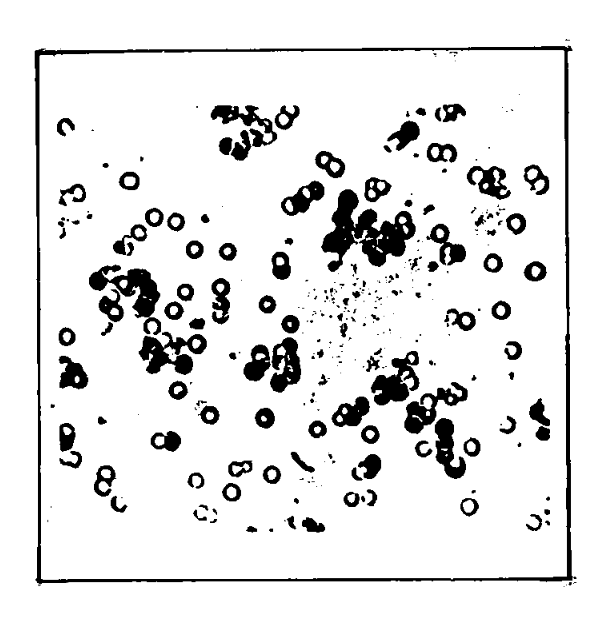
ناشئة عن زجاج البـــوروروسيليكات (borosilcate glass) في جهــاز الشرارة وشككا في ما اذا كانت قد لعبـت دورا في التكـوين الحيوي (biogenesis)

قامت جماعة من الباحثين في رومانيا بتحري امكانية تكون مركبـات عضوية من جو بدائي في ظروف مختلفة ، وتنــاول سيميونسكـو ودينس وماكوفو[١٣] (Simionescu, Dénes, Macoveau) تكون مركبات ما قبل حياتية بالتفريغ الكهربائي في احوال البلازمة الباردة معدلة ما بين درجـة حـرارة (+٢٠ وـ٦٠°) مئوية ، ووجدوا ، في تجارب افتعالية لهذه الاحوال أن خليطا من الميثان والامونيا وبخار الماء أدى الى تكون بنى عضوية متطورة من مواد بولي هضميتيدات معقدة شوهدت تحت المجهر متكثفة في المادة الليفية (fibrillar) في ترتيبة مستديرة او متشعبة.

ان جعل تجربــة ميلر الفــورمالديهـايـد والثيـوسيـانـات (formaldehyde and thiocyanate) مواد ما قبل حيويةمعقولة الاحتمال ظاهريا أضفى سدادية جديـدة على بنى الكبريفوب (sulphobe) التي كان هيرارا قد حصل عليها في تجربته . فقام ادولف سميث (Adolph Smith) من جـامعة سير جورج ويليامز بمونتريال مع جيه جيـه سيلفر (J.J. Silver) وغــاري ستاينمان[١٤] (Gary Steinman) من جامعة بنسلفانيا الحكومية باعادة تحري ادعاء هيرارا برؤية اشكال شبه حياتية في خليط تفـاعله ، واكتشف هؤلاء الباحثون عند قيامهم بخلط ثيوسيانات الامونيوم والفورمالديهايد انالمحلول العديم اللون تخضب بالاحمر قليلا خلال ثوان وآل الى اصفر ذهبي فيالنهاية بعد انقضاء ساعة واحدة. كشف الفحص المجهري عن وجود كثافة عالية من الكرات أو الحمصات تتراوح اقطارهـا ما بين (١ـ٥) ميكـرومتر طولا. وكشفت تجارب اضافية عن ان الضوء ما فوق البنفسجي ينفق التفــاعل ،

وعند اضافة كلوريد الزينك الى خليط التفاعل اندمج الزينك في البنى مضفيا عليها نشاطا شبـه أتباز محلي (localised ATPaselike activity) كان رأي الكيميائي ان هذه التجارب دللت بوضوح كيف كان يمكن لمواد كيميائية بسيطة يعتقد انها تواجدت على الارض البدائية أن تكون قد شملت أوتدخلت في تكوين بنى مثل الخلايا قبل تواجد اية خلايا حية.

ونموذج آخر للانتظام ما قبل الخلوي الذي قد حظي بترويج كبيرهو الكرات المتكونة من البوليمرات الحرارية للحوامض الامينية التي حصل عليها سيدني فوكس ومعاونوه في تجربتهم . في عام ١٩٥٩ أعلن فوكس وهارادا وجيه كيندريك[١٥] (J. Kendrick)ان المحاليل الحـارة المشبعة من شبـه البروتينات الحامضية (acidic protenoid) اعطت عند تبريدها اعدادا كبيرةمن كريات مجهرية متوحدة متسقة . كانت هذه البنى الكرييـة المسماة بشبـه البروتينات الكريية المجهرية (proteinoid microspheres) ذوات اقطار تتراوح اطوالها في العموم ما بين (٥ر١ـ٣) ميكرومتر وتكونت بسرعة وسهولة من شبه البروتين الحامضي. انما شبه البروتينات القاعدية (basic proteinoids) من جهة أخرى، لم تكون اعتياديا اية كريات مجهرية ما عـدا عند خلطهـا بشبه البروتينات الحامضية . أعطت الكريات المجهرية المحتوية على شبـه البروتينات القاعدية لوثة غرام موجبة (positive Gram stain) . اما تلك المعدة من شبه البروتينات الحامضية فانها تقبلت اللوثة ولكنها كانت سالبة، واعتبرت هذه الملاحظة كدلالة على اوجه الشبه في التركيبة السطحية في الكريات المجهرية شبه البروتينية والبكتيريا[١٦].



الشكل ٢/٢٢ ــ كريات مجهرية تكونت من الحامض الاميني الحامضي •

كما هي الحال مع أغلب هذه النماذج الفيزيائية للخلايا بوسع الكريات أن تلتئم وتنقسم، وبوسع الافراد الاصغر بينها الالتصاق بأترابها الاكبر • وقد أشير الى هذه الظاهرة الاخيرة باعتبارها (تبرعم budding) بناء على تماثلها بالمتعضيات المجهرية الحية • أعلن فوكس وجماعته ان عند ازالة هذه الكريات الاصغر بالصدم الميكانيكي أو الحراري أو الكهربائي وتجميعها بعملية الفرز المركزي (centrifugation) لاحظوا انها تنمو في الحجم عند وضعها في محلول شبه بروتيني مشبع بدرجة حرارة (٣٧°) مئوية[١٧]• كما ان اجراء التغييرات في أحوال المحلول حمل هذه الكريات المجهرية على مكابدة تغييرات مورفولوجية مختلفة مفتعلة تناسخ الخلايا • وعلى الاجمال قد تم عزو خمس كيفيات تكاثر الى هذه الكريات اللابيولوجية•

مثل ليدوك (Le Duc) وكييساته الارتشاحية قبل سبعين عاماً خلت، حاول فوكس أن ينسب جميع الظواهر الفيزيائية «الفقاعية» أو الزائلة الى خواص الخلايا الحية • يمكن بوضع ضغط ضئيل على هذه الكريات المجهرية جعلها تتجمع في سلاسل مثل الطحالب[١٨]، وعندما التحمت هذه الكريات وحصل تبادل للمادة المحتبسة فيها سميت هذه الظاهرة «بالتواصل»[١٩]• أما التفسير الاحدث لعملية الاقتران او «التزاوج» بين هذه الكريات المجهرية فهو «التناسل البدائي»[٢٠]•

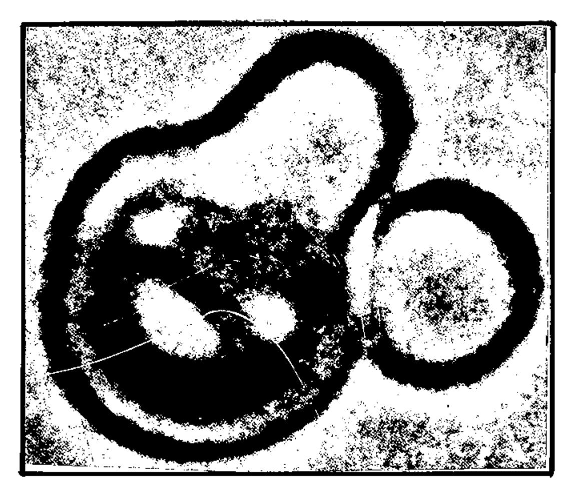
انه من الصعب رؤية تواجد اية علاقة تطابق لاشباه البروتينات اوكرياتها المجهرية بأصل الحياة• وكما اشار جيه دي برنال (J.D. Bernal) : « تنتج هذه الكريات او الحويصات عادة بالبلمرة اللانظامية أو المتفرعة التسلسل، كما في حبيبات النشأ، ولا تؤدي بفعالية الى بلور وانما تشكل التئاما من كريات جاسئة أو لدنة حول النوى، وأي تشابه بالمتعضيات ، مثل حصول ازدواج كريتين كدلالة على الانقسام ، ربما هو عفوي من باب الصدفة•[٢١] وبالنتيجة فان بحث فوكس يعكس رجوعا الى الاسلوب القديم للتجارب حول نشأة الحياة والذي كان يستهدف اقامة نماذج تقليدية لاشكال الحياة البدائية•

يقينا ان الكريات المجهرية تمثل دلالة اضافية على ان البلمرة الحرارية للحوامض الامينية لا يفضي الى بلمرة جانبية تشبه البروتينات الطبيعية • واذا اعتبر المرء اشباه البروتينات الحامضية بكونها اصلاً بنى لحامض البولي اسبرتيك يصبح الترابط ما بين الجزيئي يسير التفسير • تملك حوامض الكربوزيليك (carbozylic acids) نزعة شديدة لازدواج صيغها الجزيئية بالارتفاق بواسطة مجموعاتها الكربوكسيلية • وبنفس الاسلوب تكون مجموعات حامض الاسبرتيك الجانبية في شبه البروتين اربطة بين جزيئيته

مع بعضها في جزيئات متجاورة • وهذا متماش مع حقيقة ان الكريات المجهرية تتفكك في مستوى سٓ يدٓ فوق (٦) بسبب تآين مجموعات الكربوكسيل•

بتغيير تركيز الملح يمكن جعل الكريات المجهرية تنتفخ وتنكمش، وهي خاصية اقترح انها مماثلة لتلك التي تبديها الخلايا عند تعريضها الى تغيير في الضغط الارتشاحي على غشائها شبه الانفاذي الانتشاري (semi-permeable) [٢٢]•

ولما كان قد ثبت ان الكريات المجهرية شديدة الترشح او الانتضاح ولا يمكن أن تقوم مقام الغشاء[٢٣]، فانه يتعذر عزو الانتفاخ والانكماش الى الضغط الارتشاحي وانما بكل وضوح يتأتى من عمل شبه البروتين بصفة بوليمر مشحون على غرار داويكس ٥٠[٢٤] (Dowex 50) • ان البوليمرات التي تتضمن مجموعات وظيفية قابلة للتآين، مثل ($-NH-$ ، $-C{\le}^{O}_{OH}$) تنكمش او تنتفخ في تركيزات ملح مختلفة بسبب التغير الحاصل في عدد الشحنات على البوليمر• فالتركيزات العالية من الملح تسبب الانكماش بالانجذاب الكهروستاتي للبوليمر المشحون الى الايون المضاد، وتستخدم مثل هذه البوليمرات عادة في المختبر كمبادلات ايونية (ion exchangers)



الشكل ٣/٢٢ ــ جسيمة جيوانو تبين «التبرعم» •

لقـد جرت احـالة ما يقرب من اربع وعشرين خاصية للبروتينات الى البوليمرات الحرارية للحوامض الامينية[٢٥]. تعتبر «محدودية اللاتجانسيـة limited heterogeneity واللاعشوائية (nonrandomness) لتركيبة اشباه البروتين كدلالة مؤيدة لامكانية تحقيق بلمرة مشـاركة (copolymerication) للحوامض الامينية في سياقات تشبه البروتينات. غير ان هذا مناف للسلوك الفيزيوكيميائي للبروتينات . فالبروتينات والبولي هضميتيدات لا تكوّن كريات مجهرية . وحتى البروتينات المنزوعة الطبيعة ، كمثل اغلاء بيضة ، لا تتكور في كريات مجهرية، بل تتخثر او تتروّب بالطريقة المألوفة.

كما ان جهودا مماثلة لخلق نماذج للخلية البدائية قد اولت اهتماما أكبر للشكلية الاجمالية مما للوظيفيـة الكيميائيـة . فقد قام كريشنا بهادور[٢٦] (Krishna Bahadur) من جامعة الله آباد بالهند في عـام ١٩٥٤ باعداد كريات مجهرية بتعريض بارافورمالديهـايد والماء واوكسيد المولييدينوم الغـرواني لاشعاع الضوء المرئي . وزعم ان هذه الكريات المجهرية ملكت القدرة على النمو والانقسام والانشطة التآيضية. كما قام بهادور باعداد كريات مجهرية ببلمرة الحوامض الامينية حراريا وأسماها جيوانو (Jeewanu) وهي الكلمـة السنسكريتية التي تعني «جسيمات الحياة»[٢٧].

ان التعليل المطروح من اوپارين وفوكس وآخرين لنمـاذجهم هو ان الخلية الحية كانت قد سبقتها منظومة كانت تملك الخواص المورفولوجيـة الشبيهة بالخلايا ولكنها لم تكن حية بعد. على ما يظهر ان انعقادات اوپارين اصبحت حييات بدائية اولية[٢٨] (protobionts) والكريات المجهرية لفوكس خلايا بدائية اولية[٢٩] (proto cells) . ثم على ما يزعم ان هـذه البنى مرت بفترة من التطور تغيرت فيها الى ان نشأت بشكل الخلايا الحية الاولى . لكن كيفما يتأمل المرء هذا لا يسعه الا اعتباره هراءً علمياً. فالنشوء الارتقائي هو عملية التطور البيولوجية من خلال التبدل الطفري والتكاثر والانتقاء. وهذه

النماذج الكذب خلوية ، مثل الصلصال ، او فقاعات الصابون ، أو غيرها من الجماد ،لا تملك الآلية ولا القدرة الكامنة لتصبح غير ما هي ليس الا.

فقدت هذه النماذج للخلايا الحية قيمتها العلمية بالاقلاع عن وظيفة الغشاء الخلوي للتشديد على التشابهات المورفولوجية الباهرة . كانت فرضية الانعقادات قد اقيمت في عصر بدت فيه الكيمياء الغروانية بأنها اساس الحياة، ونشأت شبه البروتينات من محاولة فاشلة لتمثيل او تصنيع بروتينة لا حياتية او مادة شبه بروتينية بعملية بسيطة ، لقد حملت كلتا الفرضيتين فوق وسعهما في محاولة لاشتمال دور المحرك الاولي في أصل الحياة بالرغم من خطوات التقدم الهائلة التي تحققت في البيولوجيا الجزيئية وكيمياء الغشاء والتي كشفت ان المبادىء الكيميائية التي تم اشتقاقها منها لم تمت بصلة الى كيمياء المنظومات البيولوجية.

ان المسألة الراهنة هي ما هي القوى التي تسببت في تجمع والتئام البوليمرات ما قبل البيولوجية . ان القوة الرئيسة الرابطة في الانعقادات هي التجاذب الكهروستاتي بين البوليمرات المموهة ، وتكوّن الكريات المجهرية يتوقف في الاساس على نفس التفاعل . في العموم يجري اعداد الانعقادات من المركبات البيولوجية ، أما الكريات المجهرية فيتم اعدادها من المركبات اللابيولوجية . وقد اقتضى تبرير وقوع الاولى على الارض ما قبل الحياتية ، بينما ليست الثانية سوى مواد ردب يستبعد ان تقوم خلية وظيفية حية.

لكن الخطأ الاكثر فداحة في النماذج المبنية على جسيمات متسكة معا بقوى ايونية هو انها كانت لتكون على الدوام مهددة بخطر الانحلال . فالانعقادات شديدة اللااستقرارية ، والكريات المجهرية تتواجد فقط في محاليل مشبعة، وتواجدهما في البحار او البحيرات الاركية كان ليكون قصير العمر للغاية.



الفصل الثالث والعشرون ـ الغلاف الحيوي

حصل شيء ما في نقطة ما على الارض البدائيـــة ، شيء كان عاديــا وتلقائيا في المراحل المتطورة الى منظومة بيولوجية سجلت بداية الحياة . فقد كان من تلك اللحظة فصاعدا ان تحولت بعض الهضميتيدات والبولي نووتيدات ومواد متنوعة متوافقة من مجرد مواد كيميائية الى مواد بيوكيميائية ملتئمة بكيفية آلت بها الى خلية حية . فماذا كانت طبيعة تلك الخطوة الختامية؟ حتما انها كانت أكثر من تولد جسيمات كروية بشمعة لا صلة لها جوهريا بالمنظومات البيولوجية ، ولابد بالاحرى انها كانت عملية ادخلت خاصية جوهرية في تنظيمة المادة تتميز بها الخلية الحية . ذلك الحدث الخطير الذي اصبح اللحظة التي بدأت فيها الحياة كان انغماد تجمع من الجزيئات الذاتية الانتساخ في غشاء خلوي شبه انفاذي انتشاري.

أصبحت الخلية الحية تفاعلا خاصا من المادة وسيطا بين مواد مرتبطـــة ارتباطا وثيقا بأربطة وجزيئات متساوية التكافؤ في محلول ســائب . وليتم الافصاح عن بنية البولي نووتيدات من خلال التناسخ والترجمة تحتم عليهــا وعلى مقوماتها الانحباس في تجاور وثيق ومع ذلك بدرجة من الحرية يتسنى لها معها التحرك والتفاعل . ولهذا الغرض مست حاجة الخلية الى غمد كانف يملك جميع الخواص الفيزيائية لفصل الخلية عن البيئة المحيطة مع اتــاحة المجال لها لتناول المواد الاولية والطاقة ، وبهذه الطريقة تمكنت الخليـــة من ادامة احتياطي من الطاقة بالنسبة الى المحيط ليدفع آليتها الخلوية.

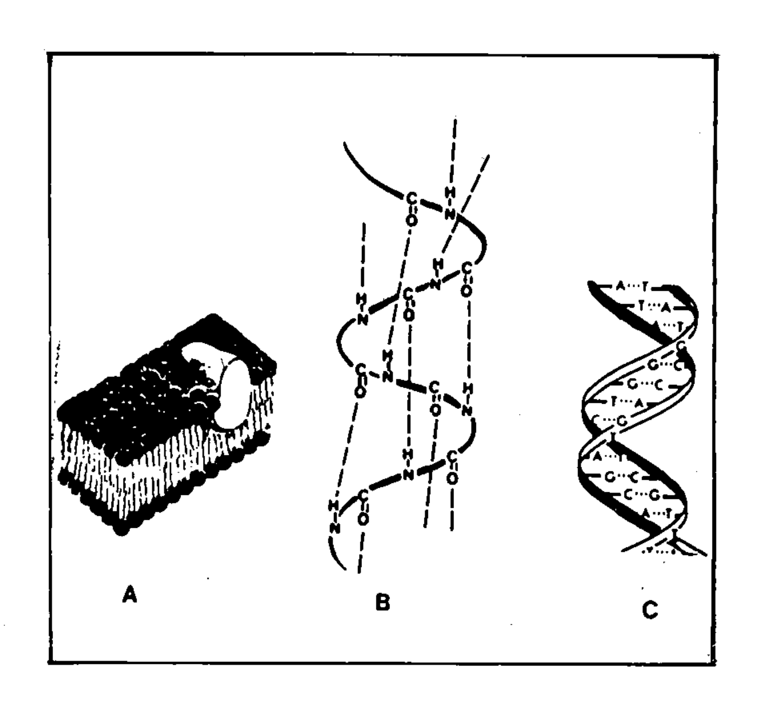
اقتضى أن يكون الغلاف الحاوي منيع النفاذ للمكونات الخلوية انما يملك القدرة على اتاحة تسرب جزيئات دقيقة ، واقتضى ان يكون مرنــا مطاوعا للاتساع والانقسام انما يتماسك ببعضه تلقائيا ، واقتضى أن يكون

مقاوما للذوبان في المحاليل المذوقة وعلى نطاق واسع من مستويات
واقتضى ان يكون متركبا من مواد كيميائية بسيطة تستطم معا ذاتيا في باطن شكلية الغلاف الثنائية البعد شبه السائلة . وتوفرت كل هـذه الشروط في الغشاء الدهني الثنائي الجزيء.

ان الغشاء الثنائي الطبقة الدهني مثال للبساطة يتكون تلقائيا ويؤلف السمة البنيوية العامة الجامعة لجميع الكائنات الحية قاطبة ، وهو موجود لدى كل خلية ، بما فيها اصغر المتعضيات المجهرية الطليقة العيش . هذه الطبقة الثنائية الدهنية جوهرية الضرورة لدرجة انها تأتي في مصاف لولب ألفا للبروتينات واللولب المزدوج للدنأ (DNA) في تمثيل البنى الاساسية الثلاث للمنظومات البيولوجية . وأهمية الغشاء الدهني واضحة من الحقيقة أنه كلما تزايدت المتعضيات في التعقيد كلما ازداد اتساع عدد البنى الخلوية المحتوية على الاغشية .

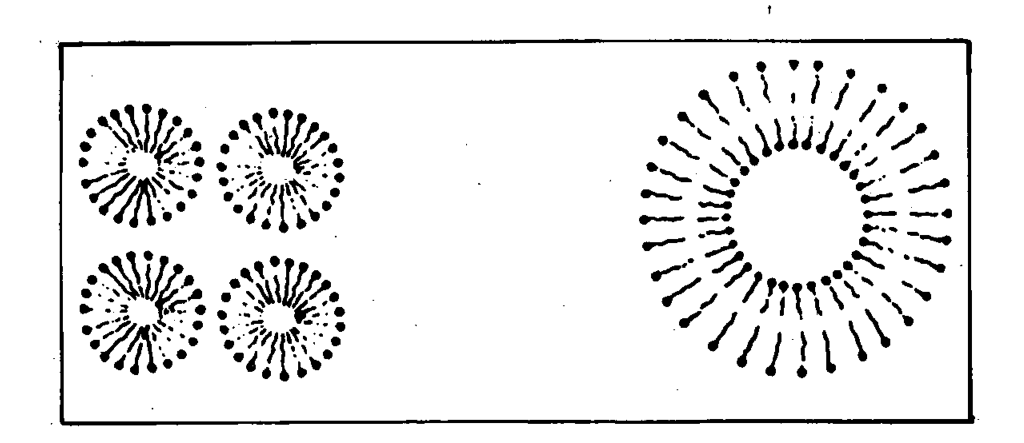
تتباين تركيبة الدهنيات في أغشية الخلايا المعاصرة الى حد كبير ، انما في العموم يتألف الغشاء بالتقريب من نصف بروتين ونصف دهني مع كون الدهنيات في الاغلب فوسفودهنيات. وهذه المركبات الاخيرة تمثل مسلسلاً من المشتقات الحامضية الدهنية من حامض الغليسروفوسفوريك التي تتباين بالمكون الجزيئي الصغير المرتبط بمجموعة الفوسفات.

بما ان الماء ينافر السلسلة الهيدروكربونية للبدائل الحامضية الدهنية ، بينما النهاية الفوسفاتية للجزيئة قطبية وقابلة الذوبان في الماء، تأتي الدهنيات في فئة من الكيميائيات تتراصف بين طورين فيزيائيين. ففي الماء تندفع الفوسفودهنيات الى بعضها البعض معا بحجب سلاسل البرافين من الماء في تجمعات كصفائح من الجزيئات مع النهايات القطبية ممتدة في الماء. كطبقة



الشكل ١/٢٣ ـ الوحدات البنيوية الاساسية للمنظومات البيولوجية .
أ ـ الغشاء الثنائي الطبقة الدهني . ب ـ اللفيفة اللولبية للبروتينات. جـ ـ اللولب المزدوج للحوامض النوويك.

سطحية يتألف التجمع من طبقة أحادية الجزيئات في الفاصل البيني بين الهواء ـ الماء مع السلاسل الهيدروكربونية موجهة الى الخارج بعيدا عن الماء. غير انه تحت السطح ومحاطة بالماء تشكل الفوسفودهنيات اشكالا كروية مع سلاسل الهيدروكربون مندمجة بعضها بالبعض. فاذا دمجت طبقة مفردة من جزيئات الفوسفودهنيات سلاسلها الهيدروكربونية لتشكل كرة ، ينجم عن هذا ما يسمى بالمذيلة (Micelle) ، انما اذا خلقت طبقة ثنائية الجزيئات تحويطة او مكتنفا كرويا enclosure فالناتج يكون دهنوسومة (liposome) ، أوحويصلة أو بويصلة (vesicle) اذا كانت الاشارة الى مكونات بيولوجية . والحويصلة هي التي تمثل السمة الخلوية الشائعة الكلية لجميع الحياة على الارض.



الشكل ٢/٢٣ ـ المزيلات والدهنوسومة (حويصلة).

تخلق الدهنوسومة المتكونة من الصفيحة الثنائية الطبقة المغلقة حالة الخلية الحية حيث يمكن ادامة البيئة الباطنية في تركيبة كيميائية وكمين من الطاقة مختلفين عن الوسط المحيط، ولا تستطيع الآلية التكاثرية والتآيضية للخلية الاشتغال ما لم تكن المــواد المنخفضــة الوزن الجزيئي، والتي تمثل الطبقات السفلية والطلائع للتمثيل الحيوي، محفوظة بضمن غشاء. وهــذه الاغشية المزدوجة الدهنية مع نهاياتها المائية الجنوح موجهة الى الخارج هي حواجز مستقرة ضمنيا لمنع فقدان مقومات خلوية ثمينة وللحفاظ على مدرج التركيز الجوهري الضرورة للمنظومة البيولوجية .

يتحتم على الغشاء أن يعزل الخلية عن بيئتها، ولكن ليس كليا ، اذ انه يلزم توفر المجال لدخول الاغذية الى الخلية ولطرد الفضلات التلف التآيضية. والغشاء الخلوي في العموم نضوح للماء والمواد القابلة الذوبان في الدهنيات، ولكنه يدخل فقط المركبات العضوية القابلة للذوبان والتي تحتوي على لا أكثر من ثلاث الى خمس ذرات كاربون، يعتمد اختراق الايونات على عددالشحنات

الكهربائية للايون الواحد، ويبدو انالنوع المتعدد التكافؤ كأيوناتالكلسيوم والكبريتات شديد البطء في اختراق الخلايا • كما يوجد حاجز مانع للشحنة الموجبة، والانيونات الصغيرة كالكلوريد والبيكاربونات تخترق غشاء خلايا الدم الحمراء أسرع بحوالي مليون مرة من الكاتيونـات من ذات الحجم• وهذه الانتقائية للشحنة الايونية ، وهي خاصية مميزة للغشاء الخلوي، تظهر ايضا في دهنوسومات الفوسفودهنيات بعدة اضعاف حجمية[1]•

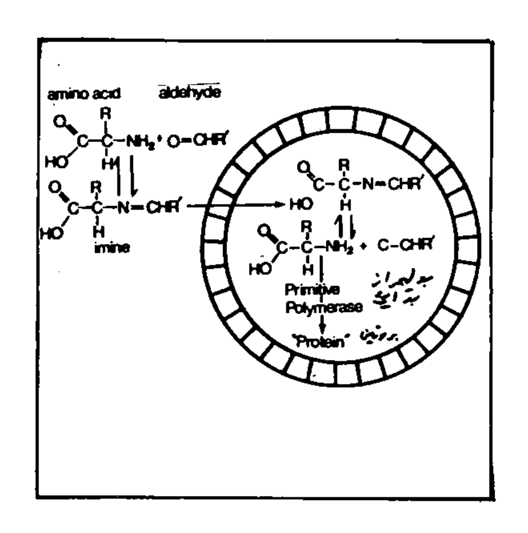
يتضمن الجزء البروتيني في الاغشية الخلويـة المعـاصرة انزيمـات وجزيئات نوعية أخرى تقوم بتأدية وظائف للمتعضيات المعاصرة كانت لتكون متقدمة فوق العادة للغشاء الغامد البسيط لدى الخلايا البدائية • غير انـه توجد بعض العمليات كانت نظرا لصفتها الجوهرية لتكون مشتركة لدى الخلايا البدائية وسلالتها الاكثر تقدما وتطورا على حد سواء• بالاصل كانت الجميع يقتضي بها ان تستجلب الى الخلية من خلال الحاجز الدهني مواد الاقتيات من خارج الوسط لتغذية نموها•

ان العديد من المواد ذوات الاهمية كالسكاكر ، والحوامض الامينية والنووتيدات ليست قابلة للذوبان في الدهنية وتتجاوز حدود حجم النفـاذ، ولكنها مع ذلك تخترق الاغشية الخلوية بسهولة ، ويعتقد ان الخلايا المعاصرة تملك آلية نقل خاصة لأخذ هذه المواد الجوهرية عبر الحاجز الدهني• ولما كان جهاز النقل النشيط هذا يبدو مشيدا من بروتينات خاصة في الغشاء فانه نظرا لشدة تطوره ما كان ليكون متوفرا لدى الخلايا البدائية • اذن كيف كان ليتسنى للمكونات الحيوية ان تعبر طبقة الدهنية لامداد الخلية البدائية بالغذاء من الوسط الخارجي؟

لابد انه تواجدت آلية بسيطة من نوع ما توفرت للحويصلة الدهنيـة

وتمكنت الخلية بها من مراكمة جزيئـات صغيرة قابلة للذوبان بالماء. اقترح ويليام ستيلويل[٢] (William Stillwell) آلية كان يمكن ان تعمل كجهاز نقل بدائي لانفاذ الحوامض الامينية، والسكاكر، والنوتيدات، عبر الغشاء الدهني للخلايا الاولية . عندما تتكثف الحوامض الامينية مع الالديهايدات البسيطة القابلة للذوبان بالماء تتمكن الايمينات (imines) الناجمة عنها من الاتنفاذ من خلال الحاجز الدهني . وما ان يصبح في باطن الخليـة يؤدي تفكك الايمين (imine) الى تحرير الحامض الاميني فيحتفظ الغشاء به، بينما يعبر الالديهايد، القادر على الانتشار عبر الغشاء، الى خارج الخلية مرة اخرى. وعلى نفس الغرار كان بامكان السكاكر أن تنتفذ من خلال الغشاء مكثفة مع الامينات[٣] (amines)، وكان بأمكان النووتيدات أن تخترق الى باطن الحويصلة الدهنية كشبائك الايون المعدني الاحادي والثنائي التكافؤ[٤]. ويعتبر هذا الصنف من الانفاذ الانتشاري (diffusion) منجزا بالواسطة الحاملة (carrier mediated) ولما كان لا يستلزم بروتينات نقل معقدة ، فمن الممكن انه كان جهاز نقل ذا أهمية لدى الخلايا البدائية.

يمتلك الغشاء الثنائي الطبقة الدهني خاصية اضافية فريـدة للخليـة الناشئة ولا يسعها الاستغناء عنها .فهو يضفي على الخلية قدرتها على عـزل الشحنة الكهربائية . جميع أغشية الخلايا الحيـة تبدي اختلافا في الجهـد الكهربائي الكامن (electrical potential) في جانبي الغشـاء. فانـه ليتسنى امتصاص فوتونات ضوء الشمس وترحيل الطاقة بجهاز نقل الالكترون لتمثيل الأتپ ATP، فانه يلـزم أن تكون سلسلة حامـلات الالكترون معـزولة لتفادي التقصير الدائري (short circuiting) . والغشاء الدهني لوحده فقط يمتلك السمات الرقيقة العازلة اللازمة للعمل كمكثف معزول (capacitor) بيوكيميائي.



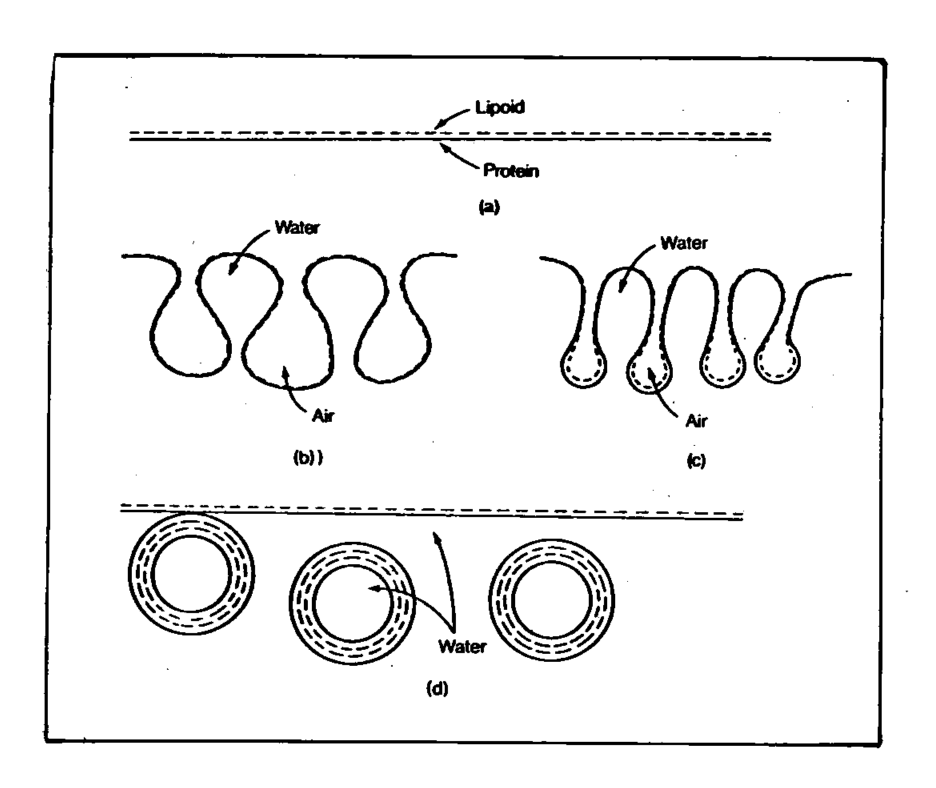
الشكل ٣/٢٣ – رسم بياني يوضح المأخذ الالديهايدي الواسطة للحوامض الامينية الى باطن الحويصلة الدهنية.

يبدو ان الحويصلة الدهنية هي النموذج الوحيد لغشاء الخلية البدائية الذي يقوم بأداء جميع المتطلبات البيولوجية . اما الانعقادات، والكريات المجهرية شبه البروتينية ، وجسيمات جيوانو، والكريات اللاعضوية، كلها لا تملك جميع الخواص الحيوية التي يملكها الغشاء الثنائي الطبقة الدهني. فهي اكثر نضوحا من ان تستطيع حفظ المواد الصغيرة الاوزان الجزيئية ، وأسمك وأكثر موصولية من ان تعمل كعازلات، وجميعها تعجز عن مطابقة شروط مبدأ الاستمرارية ، وهذا هو التعميم الذي يستوجب على كل مرحلة من التطور ان تأتي كتتمة متصلة للمرحلة التي سبقتها . وقد بذلت جهود لدمج الخواص الجوهرية للغشاء الدهني في الانعقادات والكريات المجهرية لكن الهدف يتعرض للارتياب . فلا الانعقادات ولا اشباه البروتينات تملك أي دور في المنظومات البيولوجية ، ولا يوجد أي دليل على ان ايا منها كان يملك هذه الخاصية قط. من جهة أخرى، يبدو ان الغشاء الثنائي الطبقة الدهني كان الغلاف الحيوي منذ بداية الحياة.

كان اختلاف المنظومة البيولوجية نتيجة تجارب المواد الطبيعية للتفاعلات التلقائية ، وقد وجد ان لبنات البناء كانت بنى معززة بالطاقة نتجت عن التفاعل بين الطاقة الشديدة والمادة ، وبلمرتها تتبع تفاعلات كيميائية معينة في أحوال ارضية عادية • فالنوويتيدات تشكل ازواجا من خلال الترابط الهيدروجيني للتناسخ، وتلف البولي هضميتيدات نفسها في لفيفة لولبية ، وهكذا ايضا تتجمع الدهنيات تلقائيا في بيئة مائية لتشكيل اساس الغشاء الخلوي•

تتضح تلقائية الدهنيات لتكوين البنى من اسقاط قطرة من الزيت في الماء• وحتى قدر دقيق من الزيت سينتشر تلقائيا في صفائح من الجزيئات المتراصفة ويشكل طبقة رقيقة • والطبقات السطحية هي طبقات احادية الجزيئة تتكون في الفاصل البيني للماء والهواء، بينما في حجم مائي بدون فاصل بيني تقوم الدهنيات بما مؤداه خلق فاصلها البيني الذاتي بابقاء نهاياتها القطبية متجهة نحو الماء بينما توجه ارفالها اللاقطبية للتجمع معاء فاذا تكونت كرة تضم ماء تكون النتيجة تحويطة غشائية ثنائية الطبقة ، أي حويصلة•

هذه سمة عادية للطبيعة كان أول من أبان اهميتها لأصل الحياة ريج كولديكر(٥) (Reg Goldacre) من معهد بحوث چستر بيتي بلندن • في عام ١٩٥٨ نشر كولديكر ورقة حول الرقائق او الطبقات السطحية (surface films) كان قد لاحظ شيوعها في جميع البحيرات والانهر والجداول • توجد رقيقة (film) مرنة على أسطح جميع التجمعات المائية قلما تبدو للعيان الا اذا كانت مفعمة بالغبار أو جرى فحصها بعناية ، وهذه تبدو جزءا من البيئة الطبيعية ، تأكلها الدعاميص ، وتزحف البزاقات منقلبة على سطحها السفلي، ويمكن رؤية مفصليات صغيرة مستندة عليها اثناء تنطنطها على السطح• وهذه رقيقة جزيئية ليس من الزيت وانما ربما من الدهنوبروتينات (lipoproteins) واوراق النبات واللقاح أو الطلع وغيرها من المواد المتساقطة في الماء•

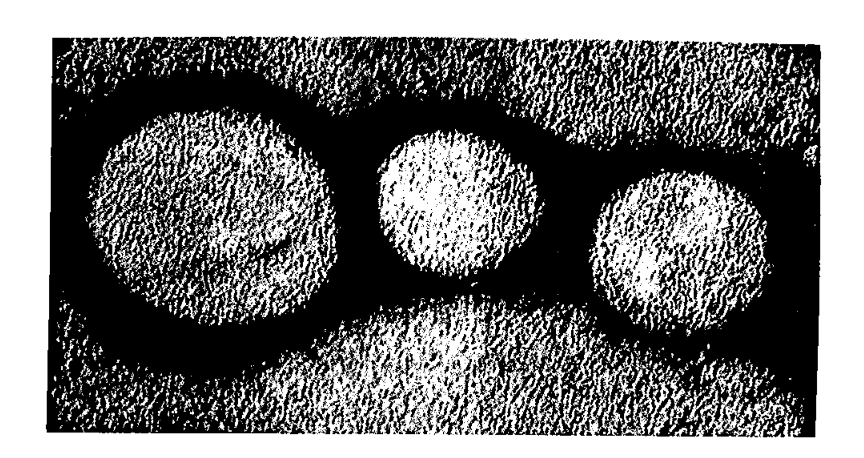


الشكل ٤/٢٣ ـ نموذج مقترح لتكوين الحويصلات الثنائية الطور على الرقائق السطحية بفعل الموج.

عند قبض او كبس الرقيقة بتضييق المساحة السطحية ، كما يحصل عند تحول المجرى فجأة من الضحل الى العميق، أو عند جريان الماء تحت حاجز عائم، أو حتى بالضغط السطحي الناجم عن فعل الريح، تتغضن الرقيقة في مسلسل من الطيات، وحيث ينطوي السطح المنافر للماء خلفيا على نفسه تتلاصق الرقيقة المتعوجة وتحتبس الهواء والماء في عرى أو انشوطات متناوبة. ثم فيما يتسرب الهواء ويتبدد بالتدريج تنهار الفقاعات وتربط معا اقساما

متجاورة من الرق لتشكل غشاء دهنوبروتينياً مزدوجاً ينبتر عن رق السطح في اسطوينات صغيرة تتدحرج طليقة في الماء، وسرعان ما تفضي هذه البنى المستطيلة عن نشوء جسيمات كروية شبه الخلية تتألف الواحدة منها من غشاء ثنائي الطبقة دهني يضم بباطنه بيئة مائيـة • ووجد كـولديكر ان الرقائق الدهنوبروتينية المتمزقة ، التوتر السطحي، واللزوجة ، والتقلص ــ التمدد الارتشاحي، تشبه بشدة خواص الاغشية البيولوجية•

تتألف الدهنوبروتينات المكونة للرقـائق السطحيـة من مشبوكات تقع ما بين البروتينات والدهنيات وهذه تتألف بشكل رئيسي من الفوسفودهنيات• ان سلسلـة البرافين المنافر للمـاء في مركبـات الحوامض الدهنيـة من الفوسفودهنيات، باحتجابها عن الماء، هي التي تقوم بتوجيه الجزيئات الدهنية في الطبقة الاحادية الجزيئة في الفاصل البيني بين الهواء والماء• ويعتقد في العموم ان الاربطة بين البروتين والفوسفودهنيات تتألف في الاغلب مـن الايونات وتقع عنـد الفـاصل البينى رغم انه بوسع المجموعات الجـانبية



الشكل ٥/٢٣ ــ الحويصلات الناتجة في مستخرج من تجربة افتعلت التمثيل ما قبل الحيوي للدهنيات•

المنافرة للماء في البروتين ان تتفاعل مع الطبقة الدهنية • وعندما تنشأ طبقة ثنائية من تمزق الرقيقة تندمج السلاسل المنافرة للماء لطبقتي الدهنيات وتصبح الوحدة المقتطعة حويصلة ذات بروتينات ملتصقة بكلا جانبي الغشاء•

ان الرقيقة السطحية من اصل بيولوجي، فهل كان نظيرها قد تواجد على الارض ما قبل البيولوجية؟

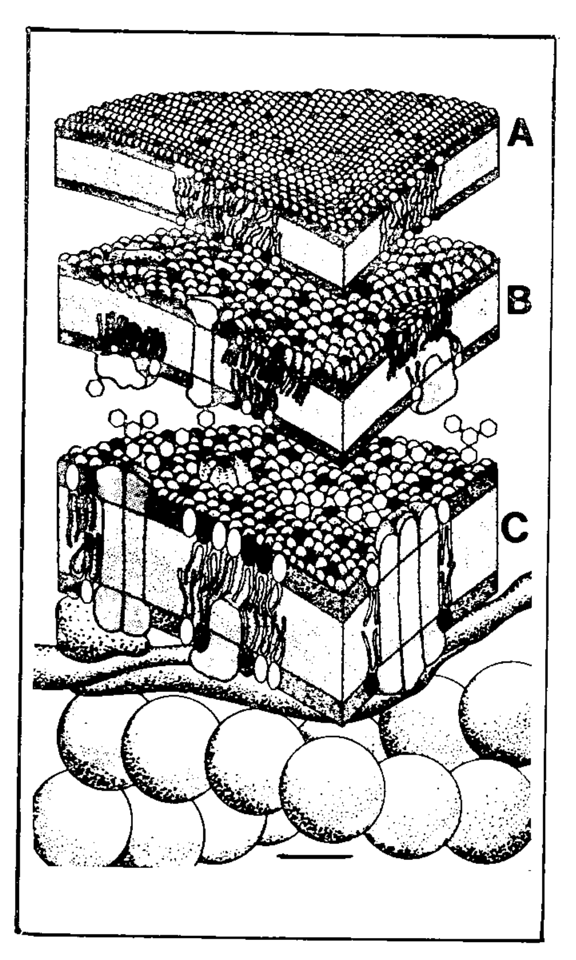
يبدو محتملا انها كانت تكوّن سمة شائعة آنذاك، مثلما هي الآن• ان الفوسفودهنيات مركبات تنشأ من تكثف الحوامض الدهنية ، والغليسرول ، وحامض الفوسفوريك ومكوّن صغير اضافي• وكان قد اعلن ان السياناميد، وهو عامل التكثيف الداخل في التكوين اللاحيوي للبولي نووتيدات والبولي هضميتيدات ، ايضا يحفز فسفرة الغليسرول في المحاليل الحامضية • وقد وجد ويل هارغريفز (Will Hargreaves) وشين ملفهيل (Shean Mulvhill) وديف ديمر[٦] (Dave Deamer) من جامعة كاليفونيا في ديفيس ، في التجارب المقامة لدراسة التمثيل اللاحياتي للفوسفودهنيات على الارض البدائية أن الحوامض الدهنية والالديهايدات الدهنية تتفاعل مع الغليسرول عند تجفيف الخلائط معا وترخيمها بدرجة حرارة(٦٥°) مئوية لمدة اسبوع واحد • في تجارب أقيمت لافتعال البرك الناجمة عن الفيضانات المدية قام هؤلاء باعداد محاليل مخففة تحتوي على الغليسرول والفوسفات والسياناميد واضافوا مشتقات هيدروكاربونية مختلفة للرقيقة السطحية • وعند تبخير الخلائط حتى الجفاف وشي او تحميص الثمالة بدرجة حرارة (٦٥°) مئوية على الرمل او الصلصال تمكنوا من اكتشاف فوسفودهنيات مماثلة للحامض شبه الفوسفوتيك وغليسروفوسفات الفوسفاتيديل في المواد الناتجة عن تلك العملية ، مع بعض الدهنيات المحايدة المتخلفة• اضافة الى ذلك عند صب الماء في هذه المنتوجات وخض الخليط تكون بسرعة معلق (suspension) لا متجانس من الحويصلات

مع الغشاء الثنائي الطبقــة الدهني • علقت اهميــة خــاصة على غليسرول الفوسفاتيديــل نظــرا لأن هــذه الدهنيــة ومشتقاتهــا الامينواسيليــة (aminoacyl derivatives) بارزة التواجد في أغشية البروكاريوت •

وفيما واصل هارغريفز وديمر دراستهما وجدا أن النزعة الى تشكيل بنى شبيهة بالخلية لم تنشأ من الدهنيات الاكثر بساطة من الفوسفودهنيات وانما ايضا تلقائيا بدون فعل الموج أو أي شكل آخر من الاضطراب • كونت الجزيئات المشحونة المفردة السلسلة حويصلات دهنية مستقلة وحتى احاديات الاسيل غليسرول (monoacylglycerols) التأمت في دهنوسومات عند تفرقهــا في الماء• زيادة على ذلك كونت الحوامض الدهنية ذوات (٨ الى ١٦) ذرة كربونية حويصلات دهنية عند جعل الاحوال قلوية قليلا•

كانت المعالم الحرجة (critical parameters) لتكون الحويصلات مستوى س يد ودرجة الحرارة وطول السلسلة الهيدروكربونية • وبدا ان الحــد الادنى لطول السلسلة التي يمكن للاغشية أن تتكون منها في تفرقات نقيــة كان ثمانية (٨) كربونات لكل من الحوامض الدهنيــة وأحــاديات الاسيل غليسرين، وكان مدى درجة الحرارة المطلوب مــا بين (٢٠ــ٥٥°) مئويــة ومستويات س يد ما بين (٧ الى ٩)، وهذه أحوال تتواجد في معظم البيئات الارضية•

على ما يظهر كانــت الغليسرودهنيــات البسيطــة اكثر انتشــارا من الفوسفودهنيات على الارض البدائية ، وكان بوسع الرمل أو الصلصــال في المسطحات الطينية أو المستجمعات المائيــة الجافــة توفير الظروف الملائمــة لتفاعلات التكثف ــ الجفاف التأمت فيها الجزيئات المحبــة والمنافرة للماء لتشكيل الغليسرودهنيات • وزيــادة على المحفــزات السطحية كالسيليكا والصلصال ربما ان عوامل التكثيف الكيميائية من سياناميد وثنائي السياناميد ساعدت في التمثيل ما قبل الحيوي لهذه المركبات الغشاء انمائية•



الشكل ٦/٢٣ ـ خطوات افتراضية في نشأة الغشاء الحيوي. يمثل الخط الافقي (٥٠) نانومتراء أ ـ الغشاء الثنائي الطبقة الابسط يتضمن دهنيات مفردة السلسلة مع هيدروكربونات C_8-C_{12}
ب ـ غشاء يتضمن كلاً من دهنيات احادي وثنائي الكيل (mono-and dialkyl lipids) (C_{10}-C_{16}) مع بولي هضميتيدات ملتصبة ومحتشرة بينيا . جـ ـ غشاء متقدم من دهنيات ثنائي الكيل (C_{16}-C_{18}) يتضمن بروتينات وهيدروكربونات ، ومتعاشر مع أجهزة بروتين محيطية.

لاختبار سلوك الدهنيات في الاحوال الافتعالية قام ديمر وغيل برجفيلد[٨] (Gail Burchfield) بترك دهنوسومات الفوسفو دهنيات تتعرض الجفاف ـ التميؤ (dehydration-hydration) في حضور ٦ـ كاربوكسي فلوريسين (6-carboxyfluorescein) و دنأ DNA الحوينة المنوية لحوت سليمان (Salmon) على التوالي. اثناء فترة التميؤ التأمت الدهنوسومات بالبنى المتعددة الرقائق أو الرهائف (multilamellar) مع الصبغة (dye) أو الدنأ DNA محتبسة بين الطبقات. وعند اعادة تميؤ المنظومة انتفخت الرهائف وشكلت بنى حويصلية كبيرة تتضمن مواد الاختبار. واتضح من ذلك أن اغتماد الجزيئات ما قبل الحياتية كان سمة عادية للدورة.

انما يبدو انه كان هناك شيء أكثر في سلوك الدهنوسومات من الاحتواء ساعد الخلية في مسيرتها. ان عملية التمثيل الحيوي وثيقة الصلة بالبنية، فان كيفية وضع الانواع الجزيئية للتفاعل ذات أهمية في تمييز الاليات الخلوية من المحاليل المكشوفة. عند اضافة حامضي (d-AMP و d-TMP) ومرسومة من الدنأ DNA (بوليمر جانبي مساعد بولي Poly dAdT alternating copolymer=dAdT) ووضعها في عملية «بركة المد =tide pool » حيث تجففت المكونات في أحوال لاهوائية لفترة بضع ساعات بدرجة حرارة (٦٠ـ٩٠°) مئوية ، حصل شيء رهيب . اندمج قدر صغير من المونومر d-AMP او d-TMP في الجزيئة البوليمرية[٩].

كانت الحصيلة ضئيلة بالمقاييس المختبرية (١ر. بالمائة بالدورة) ولكن هائلة الاهمية في مغزاها. كانت الدهنية (lipid) ودرجة الحرارة جوهريتين للتفاعل. وحدس ديمر ان البلمرة الدهنية الاعتماد لمونومرات النووتيد الى جزيئات أكبر ربما تحصل لأن توجه المونومرات في الحيز الثنائي البعد الممهد

بطبقات الدهنية اثناء دورة الجفاف يراصفهـا لتشـكيل رابط ثنـائي ايستر الفوسفات (phosphodiester) •

ويعتقد ديمر وهارغريفز ان الاغشية الابتدائية في الارض البدائية كانت امـا جزئيا او غالبيا دهنية • وحتى قلمـا تصبح عمليـة التمثيل الحيوي (biosynthesis) حقيقة واقعة ، كان يمكن ان تتواجد قوى انتقـائية فضلت الاستقرارية التي ركزت الفوسفودهنيات المتوفرة في خلايا معينـة• وكانت التفاعلات الايونية والماء تنافرية بين دهنيات وهضميتيـدات الغشـاء لتتيح للاخيرة لتحتشر في بنية الغشاء، وربما حقنت فيها انفاذية انتشارية انتقائية • وفي الاخير كان تمثيل البروتينات ليؤدي الى نشأة بروتينات مندمجة في الغشاء لوظائف نوعية كأنزيمات او كعوامل لنقل المواد الى ومن الخلية•

كانت جميع القوى الطبيعية متواجدة في البيئة البدائية لتوفير مستلزمات الالتئام الذاتي للخلايا البدائية، لقد تواصلت النشأة ممتدة من المواد الجمادية وحتى الجزيئات الضخمة والبنى الخلوية الى الخلايا الاولية في عمليات تفاعل تلقائية تسلسلية • وعند تأمل عدد الوقائع الممكنة نجد لابد أن مسلسـل التفاعلات امتد تكرارا الى انواع خلوية تمكنت من اجتياز العتبة الى النشأة البيولوجية • ومن تلك اللحظة فصاعدا كانت دخلت الميدان لتفوز بمعترك المستقبل•



الفصل الرابع والعشرون ـ ظهور الخلايا

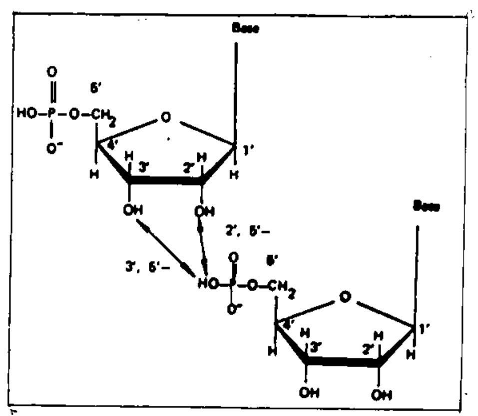
اندثر المشهد البدائي وزال من الوجود، واضمحلت المواد ما قبل الحياتية التي ولدت الخلايا الحية الاولى واندرست معالمها منذ زمن بعيد في عمليات دورية تكرارية لا تعد ولا تحصى قامت باستهلاكها واحالتها فيها ذات المتعضيات التي كانت مرة قد خلقت • ولم يتبق شيء ليشهد على ذلك الحدث الجلل قبل أكثر من ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة على الأرض الاركية حين التقت المادة والطاقة لتخلقا كيانا حيا كتب له في النهاية أن يتكاثر وينتشر في كل بقعة وزاوية في القشرة الرقيقة المائية والغازية التي تنغمد الارض ، ومن ثم ليمد مجساته الى الخارج نحو الكون الرحب الفسيح•

لكي نرسم الاحداث التي تواترت بين ما قبل ثلاثة الى اربعة آلاف مليون سنة خلت، يقتضي بنا أن ندرس انماط عمليات الحياة وتتبت من تيارات السلوك الملموسة ونحاول اقتفاء الخطوات التي تعاقبت بها الحياة • آنئذفقط نستطيع ان نقفل راجعين في الزمن الى ما وراء بداية التوالي او مخلوقات الدهر الوسيط واللاحشويات والاسفنج، ونعبر الى ما قبل ظهورالیوكاريوت، الى ما قبل مجيء الاوكسجين كمقوم حياتي، ثم نتجاوز الى العالم الحارالنزيع الغريب الذي كان سائدا في الدهر الاركي حين كانت البحار ضحلة ضحضاحة تسف حول القارات الطرية الحديثة النشأة التي كانت آنذاك مجدرةومسودة بترعصات وتشنجات البراكين التي تمخضت عنها•

انحرفت المواد ما قبل الحياتية التي تكونت على الأرض البدائية الى البطاح المنخفضة وتجمعت فيها وأخذت تتفاعل مع بعضها في حشود لا تحصى من الالتئامات والالتحامات الكيميائية الممكنة، فتحلمأ بعضها بسرعة ليعود ويلتئم مرة أخرى بكيفية مختلفة ، وترسب غيرها اكثر استقرارا منها وبدأ يتراكم • ونشأت الحياة عن الالتحامات التى تمكنت من الاستمرار في البقاء•

لكن استمرار بقاء المواد الكيميائية الذي يعتبر اعتياديا ناشئا عن مقاومة التفسخ، تم في هذه الحالة بطريقة أضمن من ذلك الى حد كبير. فالطريقة التي تمكنت بها أمزجة كيميائية من مواصلة استمرارها وتخليد بقائها كانت بتناسخها ذاتيا.

بدأ الامر بالنووتيدات. فقد كان بوسع هذه الكيميائيات الالتئام ببعضها في اشكال شتى ضعيفة بواسطة الترابط الهيدروجيني ، بعضها أقوى من بعض ، ولكنها جميعها سهلة التحلل والانفكاك في المحلول . عند تحويلها الى مشتقات منشطة مثل البولي فوسفات والفوسفوراميدات وثنائي ٢، وثلاثي ٣، الفوسفات الدائرية تكثفت النووتيدات في سلاسل قصيرة ، وفي أغلب الاحيان تضامت المونومرات الى بعضها في ترابطات اسهامية ثنائية ٢، خماسية ٥، وكذلك في اربطة ثلاثية ٣، خماسية ٥، الموجودة في المنظومات البيولوجية.



لكي تتمكن من التناسخ بوجه فعال كانت بولي نووتيدات المتعضية تحتاج لتكون من صنف واحد من الترابط الاسهامي. فبأية وسيلة تمكنت الخلايا البدائية من الوصول الى بولي نووتيدات ذوات اربطة موحدة متسقة؟

طرح ديفيد أشر[1] من جامعة كورنيل مخططا بيانيا يوضح كيف تمكنت النووتيدات المتضمنة اربطة من صف ثنائي ٢، خماسي ٥، (أي: 2', 5'- وثلاثي ٣، خماسي ٥، بالتدريج من ان تصبح بولي نووتيدات ثلاثي٣، خماسي٥، بفعل نمط دائري في الطبيعة . عندما تلتوي اوليغونووتيدات ذو اربطة ثلاثي ٣، خماسي٥، في لولب مزدوج تصبح لديها مقاومة اكبر للحلمأة من النووتيدات ذوات الاربطة ثنائي ٢، خماسي٥، التي تصدع التضريسة اللولبية ، وبتعريض بوليمرات مختلطة لاحوال دورة طبيعية ، ستنزع الحلمأة التفاضلية للرابط ثنائي٢، خماسي٥، الى استحثاث تراكم البولي نووتيدات البيولوجية.

في مخطط أشر كانت النووتيدات(نووسيدات: nucleosides 2'3'-phosphates لتسخن وتشتوي في تواجد الايميدازول والمحفزات اللاحيوية الاخرى، ثم عقبت هذه عملية تبريد واضافة القليل من الماء. ويقترح أشر ان بتكرار هذه الدورة مرارا ومرارا كان ليحصل تراكم متزايد من الاوليغونووتيدات ذوات الترابط الاسهامي ثلاثي ٣، خماسي٥، (3', 5', linkage) . وهذه عملية كانت لتحصل كثيرا على الارض البدائية.

طلعت الشمس في كل صباح متعالية على وجه الارض الاركية وأخذت حرارتها تكثف النووتيدات الى اوليغومرات مختلطة . وبانقضاء النهار هبطت الحرارة فتساقط الندى على البوليمرات وبللها. وفي اثناء فترة الليل وجدت بعض الاوليغومرات ذوات الاربطة ثلاثي، خماسي (3', 5',) في المحلول اندادا متممة لها لتكون معها لوالب قصيرة . وفيما طلعت الشمس مرةأخرى لتكرر الدورة كانت النووتيدات الملفوفة في اللوالب محمية لحد ما من الحلمأة فيما تعرضت النووتيدات المرتبطة ثنائي، خماسي (2', 5',) اللامحمية للحلمأة التفاضلية . وتعاقبت الدورة يوما اثر يوم، وفي كل مرة يزداد عدد البولي نووتيدات المتبقية في اربطة ثلاثي، خماسي (3', 5') في سلاسل أطول فأطول.

كانت النووتيدات بقواعدها من البيورين والبريميدين مجرد مواد كيميائية • لكنها مع ذلك كانت تملك القدرة على تشكيل الترابط الهيدروجيني، ليس مع نووتيدات أخرى مثلها، وانما مع نووتيدة ذات قاعدة من الصنف الآخر• بهذه الطريقة كانت البولي نووتيدات تصنع سلاسل من النووتيدات المتممة التي تكون الالتئامات الاكثر استقرارية • بدأ تناسخ الجزيئات على الارض يتم فقط من خلال فصل البنية المزدوجة الوهن وصنع نسخة من «السالبة»• ومع تمام هذه العملية اصبحت هي الاساس لتأبيد او مواصلة الانواع الجزيئية•

لكي تستطيع البولي نووتيدات مواصلة تكونها دعت حاجتها الى طريقة تنشيط عملية ووقاية من الاشعة ما فوق البنفسجية الشديدة التي تحطم بنية النووتيدة ، عملت الترسبات على وقاية البولي نووتيدات المتغطية ولكنها لم تتح لها ما يكفي من المجال لمواصلة التفاعل ، وفقط عند غورها الى اعماق تحت غطاء سميك من الماء ملكت البولي نووتيدات الحرية للتحرك في المحلول وهي محمية من الاشعاع الشرس (ملاحظة : ان ضوء ما فوق البنفسجي بموجة طولها ١٨٠ نانومترا ينفذ الى عمق أقل من سنتمتر واحد ، بينما بموجة طولها ٢٨٠ نانومترا يتخلل مسافة عشرة امتار في الماء قبل انطفائه)• والجزيئات المتناسخة التي كانت قد انجرفت الى البطاح المنخفضة وجدت نفسها في الاخير متصندقة في الحويصلات التي تكونت من الرقيق الدهني المرن الذي غطى المياه البدائية•

بهذه الطريقة بقيت ممتسكة في اتصال او تعاشر وثيق مع حيازتها على حرية الحركة التي كانت تملكها في المحلول المركز حيث تواجد قدر قليل من الماء• انما لمواصلة البقاء في الماء دعت حاجتها الى امداد من الطاقة الطليقة ، أي أنها احتاجت الى التفسفر • ويبدو انه كان في هذه المرحلة أن استنبطت

الخلايا الناشئة نوعا بدائيا من عملية التمثيل الضوئي.

يقترح ستيلويل[٢] في ورقته حول نشأة الفسفرة الضوئية ان في الاحوال الاختزالية والضوء ما فوق البنفسجي الشديد للارض البدائية كان بوسع الاشكال الاولية من الخلايا استخدام الفسفرة الضوئية المبنية على فوسفات الكوينول (quinol) لانتاج ما تحتاجه من الاتب ATP وغيره من النووتيدات المنشطة. في الخلايا المعاصرة تتواجد الكوينونات (quinones) في سلسلة الفسفرة الضوئية . لكن اليخضور وشبه الجزرينات (carotenoids) هما الـ معان الابتدائيان (initial collectors) للضوء المرئي. ويملل ستيلويل ان مسلسل المتفاعلات بدأ بالاصل بالكوينون وامتد الى مصاصات أوعوامل ماصة للضوء المرئي أكثر فعالية مع اضمحلال شدة الاشعة ما فوق البنفسجية عند بدء الطبقة الاوزونية بالتكون.

الشكل ٢٤/١ ــ نموذج مقترح الفسفرة باستخدام الضوء ما فوق البنفسجي لانتاج الاتب ATP .

كان الضوء ما فوق البنفسجي مدمرا قتالا بمقادير كبيرة ولكنه كان ايضا مصدر الطاقة الاكثر غزارة تتزود منه المواد البسيطة • تتكون فوسفات الكوينول (quinol phosphates) من تعرض الهيدروكوينون (hydro-quinones) للضوء ما فوق البنفسجي بحضور الفوسفات اللاعضوية • ان فوسفات الكوينول عوامل فسفرة قوية وبمعية المشبوكة الكبريتيد الحديد القابلة للذوبان في الماء (وهي طليعة الفريدوكسين) تقوم بفسفرة الأدپ والأتپ، وعلى ما يظهر كانت النووتيدات الاخرى تملك القدرة على التنشط بنفس الطريقة•

فائدة هذا النموذج هي انه يوضح انه كان من الممكن أن تكون الفسفرة الضوئية قد نشأت في زمن مبكر من تكون الحياة من المواد البسيطة بدون البنية الغشائية المعقدة التي عثر عليها في آلية التمثيل الضوئي التي نشأت في زمن لاحق• وفيما نما الجهاز الجيني لدى المتعضيات واصبح اكثر عرضة للتلف بفعل الضوء ما فوق البنفسجي كانت الخلايا تستطيع الازدهار في اعماق او مناطق تنال القدر الامثل من الضوء للفسفرة ومواصلة البقاء•

وفي الاخير بعد ان تطورت المتعضيات الى نقطة ملكت معها قدرة تمثيل اعظم اصبحت قادرة على تنمية عملية التمثيل الضوئي مبنية كليا على التنشيط من الضوء المرئي باستخدام البورفرين ، وهي صنف الكيميائيات الذي يشمل اليخضور • يبين ستيلويل أنه حتى بعد ادخال استخدام البورفرين (porphyrins) مع كبريتيد الهيدروجين والهيدروجين والمركبات العضوية المختزلة كموردات الكترون (electron donors) ، ربما استمر انجاز الفسفرة بواسطة فوسفات الكوينول ، ولم تفقد الكوينون (quinones) دورها كعوامل فسفرة الا بعد أن اصبحت مشبوكة البورفرين ــ الكوينون ــ كبريتيد الحديد محبة للماء

ومرتبطة ببنية غشائية دقيقة محكمة ، وآنذاك آلـت الى مجـرد مكوكات (shuttles) للالكترون والبروتون في آلية التمثيل الضوئي، وهو الدور الذي تقوم به حاليا.

كان يمكن أن تكون هذه الخلايا البدائية وشكلها الخـام من عمليـة الفسفرة الضوئية وتناسخ البولي نووتيدات كثيرة الاعداد ، لكن الحياة آنذاك كانت تسير بخطى معوقة بطيئة . كانت التفاعلات بطيئة ، احيـانا تستغرق اياما، وشهورا، وحتى سنوات، بسبب عدم وجود الانزيمات. لم تكن الاغشية الدهنية يتم توليدها بالتمثيل الحيوي، انما كانت لا تزال معتمدة على الترسب الدهني ما قبل الحيوي المتراكم. ربما تواجد شكل خام من تبادل المواد بين الحويصلات عند اتحاد اثنتين منها ثم انقسامها ثانية ، أو عندما كانت خلية متواجدة تتصل بها وتمتص مزيدا من الدهنية فتنفصـل الى خليتين اثنتين مختلفتين، خلال هذه الفترة كانت الخلايا لربما مقتصرة على بيئات محصورة كالبحيرات البركانية ومناطق انحصار الماء الملائمة والمساعدة على اللقاءات.

ربما بقيت الخلايا البدائية موجودة في هذه المرحلة لمـدة ملايين ولا يستبعد مئات الملايين من السنين. كانت الحوامض الامينية ومواد عضوية أخرى موجودة في البيئة المائية ، ولكنها لم تكن ذات اهمية تذكر. ولربما كانت الحوامض الامينية التي تسربت الى الخلايا احيانا تشكل ادنيـلات (adenylates) وبالتالي هضميتيدات قصيرة فيما كانت لا تزال بمثابة الايمينات (imines) او بواسطة تشابك مجموعاتها الامينية بمكون خلوي باطني. غير ان هذه ربما لم يكن لها أي مفعول على الخلايا آنذاك ما عدا مجرد التكوم.

كانت البولي نووتيدات لتتعرض للتغير بالتبـدل الطفري خلال هـذه الفترة، انما كان يمكن ان تنشأ التنويعة الاعظم من تبادل البولي نووتيدات

قصيرة بين قطين الخلايا (cell population) •كان اقتران هذه الوحــدات في وحدات أطول على فترة مديدة من الزمن ليفضي الى عدد هائل من المؤتلفات• ويبدو من المعقول الافتراض انه كانت احدى هذه البولي نووتيدات هي التي أعطت جزيئة انطوت خلفيا على نفسها واتخذت شكلا ثلاثي الابعاد امتسك معا بالقواعد المتممة المقابلة ، وذلك بعد ترجمة البولي نوتيدة الى سلسلة متنامة، ثم اصبحت أول رنأ ناقلة (transfer RNA) وأصبحت سلسلة النووتيد التي تم نقلها او ترجمتها منها الجينة الاولى•

وبما ان الترجمة او النسخ (transcription) تشكل علاقة واحدة بواحدة (one-on-one) فلمّ تمس حاجة الجينة لأول رنأ ناقلة الى طول أكثر من طول الرنأ الناقلة ذاتها• قامت مرغريت دايهوف وزملاؤها[٣] في مركز طب جامعة جورج بواشنطن بدراسة التطور الجزيئي للرنأ الناقلــة وتجنح الى القول ان النتائج كلها تشير بقوة الى ان الرنأ الناقلة جميعها مشتقة من جينة مفــردة واحــدة• جميع الرنأ النــاقلة ممثلــة من (C,G,A,U)U, A G, C وكلها تتضمن سياق تترامر مماثل في فص واحد، وجميعها تنتهي في CCA وجميعها تملك حوالي نفس الطول • كما يشير الباحثون ان احتمالية حصول حتى أثنتين من مثل هذه الجزيئات المتشابهة بالتطابق مستقلتين عن بعضهما وبنفس الوقت في نفس الخلية كانت ضئيلة للغاية • من جهة أخرى ، كان تناسخ (duplication) جينة الرنأ الناقلة متبوعا بتغيرات التبدل بالطفرة مستقلة في الجينات المنفصلة ليفضي الى منتوجات شديدة التشابه • والتضاعفــات اللاحقة وسعت عدد الرنأ الناقلة بما يستوعب تنويعة من الحوامض الامينية•

أما ان الرنأ السلف تقبلت حوامض امينية من ادنيــلات الحوامض الامينية ، او ربما ان نهاية CCA الطرفية للرنأ الناقلة كانت قد جرى تنشيطها

واقترانها مباشرة بحوامض امينية • ايا كان الامــر ، من الواضح ان الرنأ الناقلة بدأت كوسيط لا نوعي في تكثيف الحوامض الامينية عندما تراصفت مشبوكة الرنأ الناقلة ــ الحامض الاميني في سلسلة بوليِنووتيــد تعمل كحامض نوويك رسول معاصر • لا يزال غير مفهوم تماما كيف طورت الرنأ الناقلة نوعويتها، رغم النوعوية الرابطة لكل رنأ ناقلة بحامض اميني معين تكمن في الانزيمة التي تنفق الارتباط • الا ان الرنأ الناقلة تمكنت في النهاية من ادخال آلية لتكثيف الحوامض الامينية الى هضميتيدات متناظرة مع سياق النووتيدات في الجزيئة الرسول•

الريبوسومات هي جسيمات فرع خلوية تلعب دورا جوهريا في تمثيــل البولي هضميتيدات • وبدون الريبوسومات لا تبقى مشبوكة الرنأ الناقلة ــ الحامض الاميني مرتبطة بالرنأ الرسول لفترة تكفي للتفاعل • لكي تتمكن الخلية البدائية من بدء الآلية دعت حاجتها الى شيء ما للمشاركة كريبوسومة أو ان يتسنى لها أن تنجز هذه الخطوة بكيفية ما بدون معونة هذهالجسيمات•

يرى فرنسيس كريك وآخرون(٤) ربما ان تمثيل البروتين الابتدائي حصل لدى الرنأ الناقلة التي تترابط بخمسة ازواج قاعدية بدلا من ثلاثة ، علىالرنأ الرسول، كما هي الحال لدى المتعضيات المعاصرة • بهذه الطريقة كان الارتباط ليكون من القوة بما يكفي لمسك مشبوكة الرنأ الناقلة ــ الحوامض الامينية في مكانها لفترة تكفي لحصول التكثف بدون الريبوسومة • كما اقترحوا ايضا ان كان قد تم تدوين اربعة حوامض امينية فقط للآليــة الأصلية هي الغلايسين ، والسيرين ، وحامض الاسبرتيك، والاسبــاراجين (asparagine) نظرا للتقييدات الناجمة المفروضة الكودونات من جراء ذلك•

من جهة أخرى تتألف الريبوسومات المعاصرة من زهاء خمسين بالمــائة

(٥٠٪) من حامض النوويك والباقي من تنويعـة من البروتينات • يبدو من الاكثر احتمالا أن تمثيل البروتين بدأ على الريبوسومات البدائية المتكونة من مشبوكات البولي نيوتيدات وعملت الثلاثية او الثالوثة بصفة الكودونة منذ البداية•

ربما لم تكن جميع الحوامض الامينية التي استخدمتها المتعضيات اللاحقة قد تواجدت ما قبل بيولوجيا • لكن حامض الاسپرتيـك، والغـلايسين ، والسيرين ، والالانين ، وهي الحوامض الامينية الالفا الاكثـر شيوعا التي تتولد عن السيانيد والموجودة بكثرة في الفريدوكسين ، كانت ببالغ التأكيـد ما قبل حياتية• أما الارجينين والهستيدين اللذان لم يتم انتاجهما بتجـارب الافتعال ، فلربما انهما نشآ فقط من خلال التمثيل الحيوي فيما تقدمـت المتعضيات في تطورها•

توجد فئتان من الحوامض الامينية ، الحوامض الامينيـة البنيويـة والحوامض الامينية من ذوات المجموعات الوظيفية على السلسلة الجانبية • وبعض هذه الاخيرة، لاسيما التي لها مجموعة قاعدية مرفقـة ، تلعب أدوارا حيوية في الانزيمات ولكنها لا تتكون بسهولة وسرعة في التجارب الافتعالية، كنتيجة، ربما ان مركبات ما قبل حياتية أخرى كانت قد عملت كبدائل الى أن تطور التمثيل الحيوي لهذه الحوامض الامينية • وكمثال هو ٤ـ امينوـ ايميدازول ـ٥ـ كربوكساميـد (4-amino-imidazole-5-carboxamide) وهـو مشتق الايميدازول من سيانيـد الامونيوم ، ربما كان قـد عمـل بصفـة الهستيدين (histidine) للخلية الناشئة • كما ان التريبتوفان (tryptophan) والفنيل الانين، والتيروسين، والمثيونين، هي مرشحات أخرى ربما انها نشأت عن تمثيل حيوي•

ما ان أسست الخلية الاولية درجة من النوعوية للرنأ النـاقلة مع مناظرة الحوامض الامينية بسياقات النووتيد في البولي نووتيد الرسول، فان أيـة هضميتيدات ذات فائدة لم تعد تكون عفوية الحصول وانما امكن انتاجهـا بحسب الحاجة اليها، مضفية على الخلية بذلك ميزة انتقائية. كان الفريدوكسين السلف أحد اول الهضميتيدات الناشئة ، وقد قام ايك (Eck) ودايهوف[٥] بتقفي أثره عكسا الى تتراهضميتيدة او رباعي هضميتيدة (tetrapeptide)

يتألف الفريدوكسين ، الذي هو الآن بروتين كبريتيد الحديد ، من خمسة وخمسين (٥٥) حامضا امينيا في اشكال الحياة المتقدمة ، ونشأ بالتطـور الى جزيئة متنامية في الكبر بالتوالي، وفي كل تغيير له تناول بروتينـة جديدة كانت أكثر كفاءة من سابقتها كحاملة الكترون . وهذا قلما يترك شكا في ان هذه هي الكيفية التي نشأت بها الانزيمات.

ربما كانت الخلية البدائية قد بدأت منذ زمن سابق تستخدم كبريتيد الحديد كمحفز أما لوحده او مرتفقا بالسيستين، او مع هضميتيدة لا حيويـة من نوع ما. ويبدو ان نشأة الفريـدوكسين التطورية بدأت بالهضميتيـدة (الاـاسبـسرغلي) (ala-asp-sergly) . أمـا جينة الهضميتيـدة ، وطولهـا اثنتا عشرة (١٢) نووتيدة فتضاعفت في النهاية، وفيما اصبحت قدرات التمثيل لدى المتعضيات اكثر مطواعية وكفاءة ، تمكنت الآلية الجينية من استدماج حوامض أمينية أخرى . كانت السيستين بين هذه الحوامض الامينية ، ثـم ارتفق الرابط الكبريتيدي بكبريتيد الحديد . والتبدلات الطفرة التي حورت وزادت سياق الحوامض تعقيدا خلقت مسلسلا من التغييرات افضى في النهاية الى مشبوكة من كبريتيد الحديد والبروتين شديدة التعقيد ذات قدرة متمكنة للغاية.

ليست الانزيمات مواد مفذاذة وانما تبدو كذلك فقط بفضـل كفاءتهـا

المتناهية التي تتضاءل ازائها كل المحفزات الاخرى بالمقارنة • وقد خلق هذا الفهم الخاطىء الفكرة انه كان ليتعذر على اية منظومة بيولوجية أن توجد بدونها • وهذا بالتأكيد يصدق على اية متعضية بالقياس الى الحياة المعاصرة، لكن الخلايا البدائية كانت موجودة لفترة عدة مئات من ملايين السنين قبل أن تنشأ الانزيمات • غير انه ما ان نشأت الانزيمات كانت فائدتها الانتقائية للخلايا هائلة لدرجة ان الخلايا ذوات الانزيمات أخذت تتكاثر وتنتشر بسرعة، مكتسحة امامها جميع انواع الحياة البدائية الاخرى •

نشأت الانزيمات من مواد ابسط واقل كفاءة منها كانت تقوم بنفس الوظيفة التي تؤديها هي، فالهستيدين والبيريدوكسين وكبريتيد الحديد وغيرها كلها مواد تقوم بتحفيز التفاعلات الكيميائية وهي ايضا مكونات اصبحت جزءا من سلاسل الهضميتيد أو تشابكت معها في توليفات تنفق التفاعلات بسرعة اكثر مما لو كانت لوحدها • وفي الاخير نشأت الانزيمات من عملية تطور تمثيل البروتين التي جمعت هذه المواد الكيميائية التحفيزية ودمجتها في بنيتها كجزء منها لتصبح محفزات حيوية او بيو محفزات•

وأول الانزيمات التي نشأت كانت ستكون تلك التي تسهل وظيفة آلية التكاثر ، وكل فائدة تولدت للتناسخ انطلقت تنتشر مع الخلايا السريعة التوالد في جميع انحاء القطين، وبهذه الطريقة اعطى الفريدوكسين، بتسريع عملية الفسفرة الضوئية ، فائدة مميزة للخلية البدائية • لم يتم بعد استيضاح التفاصيل البنيوية للانزيمات ذوات الصلة بيلمرة وترجمة العمليات الى النقطة التي يمكن معها تعريف وتحديد اصول الانزيمات ، انما يفترض ان هذه الانزيمات كانت لتكون من بين الاوائل التي ظهرت في المنظومات البيولوجية•

لقد اكتشفت اعتق احافير المتعضيات المتواجدة على الارض مطلقا في تشكيلتي شجرة التين والانفرواخت في ارض او اقليم جبل باربرتون من شرقي

الترانسفال بجنوب افريقيا• تقع الاحافير في احجار الظر الخام التي تظهـر أحيانا في طبقات افقية انما في الاغلب في جيوب كانت قد تكونت في سطح لابا عتيقة ، هناك، في مياه البحيرات البركانية الغنية بالفلزات ازدهرت اعتق اشكال الحياة على الارض، وانقرضت، واندفنت في الرواسب لتبقى مقبورة طوال ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون من السنين •

فهل كانت هذه الخلايا البدائية التي تكونت بالاول من التئـام مواد ما قبل حيوية لتشكل الحياة ، أم كانت هذه حياة متطورة عن تهذيب الآليات الجينية والتآيضية وتشذيبها لفترة استغرقت مئـات الملايين من السنين؟ في دراسة مقارنة لنشأة السيتوكرومات والرنأ الناقلة قام ماكلافلين (Mclaughlin) ودايهوف[٦] باحتساب زمن ظهور البروكاريوت ووجدا انه أبعد في القدم بقدر (٦ر٢) ضعف من زمن نشأة اليوكاريوت• فاذا كانت اليوكاريوت قـد ظهرت في ما قبل الف وثلاثمائة (١٣٠٠) مليون سنة ، كما اوحت اليه الاحافير المجهرية لدى بريستون كلاود، فربما ان الخلايا البدائية كانت موجودة قبل ثلاثة آلاف وتسعمائة (٣٩٠٠) مليون سنة•

وهذه في الواقع باهرة تماما • اذ باعتبـار ان الارض تكونت قبـل اربعة آلاف وستمائة (٤٦٠٠) مليون سنة وتبعتها مرحلة تي تاوري (T. Tauri) للشمس، فان هذا يتيح أقل من الف مليون سنة لتكون الجو والمياه من فعل البراكين، ، ولانتاج وتراكم المركبات العضوية ما قبل البيولوجية ، ولقيـام الخلايا البدائية وتطورها الى متعضيات وظيفية تامة • فتمثل هذه السبعمائة (٧٠٠) مليون سنة بالتقريب الفترة الزمنية لأول تكون للجبال ، حيث تراكمت الحرارة من النشاط الاشعاعي في الارض ومرت خلال دورة بناء الجبـال • وظهرت الخلايا البدائية مبكرا لدرجة لابد ان العمليات التفاعلية التي أفضت الى تكونها كانت شديدة الاحتمال ، وفي الحقيقة شديدة الاحتمال لدرجـة تستوجب اعتبار ظهورها حدثا حتميا كان لابد منه•



الفصل الخامس والعشرون ـ الخلية العجيبة

كانت الخلايا العتيقة الاولية التي عامت متدحرجة بفتور وضنى في مياه البحيرات البركانية الدافئة في الدهر الاركي مجرد البداية • لكنها كانت حية جينيا او انساليا • كانت قد اجتازت العتبة ولم تعد الآن مجرد جزيئات جمادية لا حياة فيها، وكانت الواحدة منها التئاما من مكونات شكلت وحدة تضم نووتيدات نشيطة تكثفت الى بولي نووتيدات على بولي نووتيدات أخرى، وتقوم في اثناء هذه العملية بوظيفة التكاثر الجزيئي• لكن، مع ذلك، ربما كان الامر سينتهي هناك لولا خاصية خطيرة واحدة • لقد كانت هذه الخلايا الاعتق تملك القدرة على التغيير• فبقي الباب مفتوحا قليلا•

عاشت الخلايا كحشد من التفاعلات الكيميائية ، وكل تحسن في كفاءة هذه التفاعلات جعل الخلية اكثر تنافسية على المواد المتوفرة في الوسط ، والخلايا التي سادت كانت تلك التي ملكت القدرة على الوصول الى مكونات لها اشد الفعالية في التكاثر وعجلت وتائر التفاعل • وهذه القدرة على التغير مع ميزة احتمالها على الاشد كفاءة هي التي رفعت الخلايا الفطرية البدائية من مجرد كونها مواد حية جينيا ليس الا الى المتعضيات كما نعرفها اليوم بقدراتها البارعة على التآيض•

تمعج الدرب الى خلايا حية ايضيا وتلوى في مهامه ومضايق التغيير، كل منها مضف تحسينا على قدرة الخلايا على تحفيز تفاعلاتها البيوكيميائية ، الى أن تتوجت هذه في الاخير بالمحفزات الاكثر اعجابا في الوجــود ، ألا وهي الانزيمات • لكن قبلما يقيض للانزيمات لتصبح جزءا من الآليات الخلوية لابد ومضت فترة طويلة تم في اثنائها وضع الاسس اللازمة لظهورها•

دخلت الحوامض الامينية ، والبيورينات، والبريثيدينات والدهنيات الى المنظومات البيولوجية كاملة تامة التكوين ، وكانت هذه لبنات البناء للمكونات البوليمرية المكثفة والبنية الخلوية. الا ان البروتينات مركبة من تنويعة من الحوامض الامينية أعظم بكثير مما يبدو كان متوفرا في خزين المواد ما قبل الحيوية . مع ذلك، كان يمكن ادخال بضعة حوامض امينية بعد بداية عملية تمثيل البروتين. وما ان اصبحت البروتينات القوام الرئيس للوظيفة الخلوية فان أي تغيير في حامض اميني مفرد كان يؤثر ليس فقط على بروتينة واحدة وانما على جملة كبيرة منها ، ولهذا السبب يبدو ان مسلسل الحوامض الامينية ظهر في الوجود قبل مجيء الأنزيمات.

ينظر الى الحوامض الامينية عادة بمنطوق وحدات فرعية من البروتينات، ولكنها ايضا تعمل كطلائع لمواد بيوكيميائية أخرى بما فيها حوامض امينية غيرها، وكانت الحوامض الامينية الاسهل والاسرع انتاجا من السيانيدات ، أي الآلانين ، والسيرين، وحامض الاسبرتيك، والغلايسين، لتكون متوفرة في البيئة بأعظم المقادير . ومن هذه الحوامض الامينية القلائل بذاتها تقوم الخلايا المعاصرة بتمثيل تنويعة كبرى من مكوناتها الاساسية ، وذلك لربما بواسطة مسالك كيميائية تناقلت عبر الاجيال من الخلايا البدائية العتيقة . اذن، حتى قبل ظهور الانزيمات لابد انه كان يجري تمثيل حوامض امينية من اصل وراثي حيوي في الخلايا البدائية من خلال استحالات كيميائية بسيطة كانت هي طلائع التفاعلات البيوكيميائية القائمة اليوم.

في العموم ، تشتمل عملية تمثيل الحوامض الامينية على مناقلة مجموعات وظيفية ($—NH_4$, $—CH_3$, $—CO_3$, $—CH_2OH$, $—CHO$) من مكون أو حامض اميني الى آخر. يمكن بتفاعلات المناقلة المجموعاتية تحويل بضعة حوامض

امينية الى تنويعة واسعة من حوامض امينية ومقومات بيولوجية جوهرية أخرى. وهذه التفاعلات وغيرها هي التي يعمل حامض الاسپرتيك فيها كطليعة للبيورينات، والبريميدينات، والالانين، والثريونين ، والليسين ، والمثيونين، والارجنين. ويمكن أن يتجرد السيرين ، وهو حامض اميني آخر مشتق من سيانيد الهيدروجين ، الى بيروفات، كما يمكن لعملية نزع الكربوكسيل (decarboxylation) بدورها ان تؤدي الى الخلات (acetate) والخلات بدورها بشكلها المنشط بصفةالانزيمة المساعدة أ (acetyl coenzyme A) تدخل مباشرة في عملية تمثيل الدهنيات للغشاء الخلوي.

انه لعجيب حقا كيف تتمكن بضع مواد ان تعمل كطلائع لمكونات حيوية أخرى. وفي بعض المتعضيات ، بوسع البيروفات والخلات والكربونات (pyruvate, acetate, carbonute) ، وهي مواد كانت لتكون شائعة عادية على الارض البدائية ، أن تقدم كل الكربون اللازم لكل من السيرين ، والغلايسين، والسيستين، والالانين، والقالين، واللوسين ، والايسولوسين والليسين، وحامض الاسبرتيك ، والثريونين، والمثيونين، وحامض الغلوتاميك، والبرولين، والارجنين

serine, glycine, cysteine, alanine, valine, leucine, isoleucine, lysine, asparatic acid, threonine, methionine, glumatic acid, proline, arginine.)

كانت جميع التفاعلات الكيميائية التي تستخدمها المنظومات البيولوجية موجودة قبل ظهور الحياة . وعليه، فان الخلايا الناشئة لم تخلق اية تفاعلات كيميائية جديدة لتمثيل مقوماتها انما مجرد انها تبنت الوسائل اللازمة للتحكم بالتنويعات العديدة الممكنة منها، وحققت ذلك بتسريع تفاعلات انتقائية بواسطة المحفزات . ومن بين أهم المحفزات او عوامل التحفيز التي اندمجت

ان التمثيل الحيوي للبيورينات والبيريميدينـات (purines, pyrimidines) وهي قواعد الحوامض النوويك ، موجود في جميع المتعضيات ، وربما كان احدى عمليات التمثيل الاعتق التي لزمت للبقاء• في المتعضيات المعـاصرة يتم تمثيل البيريميدينات في خطة (scheme) لابد انها اصلية نظرا لشموليتها الجامعة وبساطتها • في هذه العملية يتفاعل فوسفات الكرباميل مع حـامض الاسپرتيك لينتج حامض اليوريدوسكسينيك (ureidosuccinic acid) ومركب يستدير الى حامض الاوروتيك (orotic acid) وهو طليعة البيريميدين •

كما يتم استخدام حامض الاسپرتيك والغلايسين، وكـذلك الفورمـات (formate)وثاني اوكسيد الكربون في عملية التمثيل الحيوي للبيورين ، بينما تأتي اثنتان من الذرات النيتروجينية في البيورين من الغلوتامين•

CO_2
اسبارات
aspartate
فورمات
formate
glutamine
غلوتامين
glycine
غلايسين
formate
فورمات
glutamine
غلوتامين

وهكذا ، فقد كان يوجد في باطن الخلايا البدائية التي بدأت بكونها حية جينيا مجموعة كبيرة من التفاعلات الكيميائية التلقائية تعمل بوتائر مختلفة ادت في النهاية الى خلق متعضية نشيطة ايضيا • ومن هذه التفاعلات تلقت الخلايا البدائية تنويعة متوافقة (assortment) من الحوامض الامينية اندمجت في الهضميتيدات البيوجينية العتيقة• وبدأت الخلايا التي تضمنت محفزات كمشتقات الايميدازول والانزيمات المساعدة بتوليد بيوكيميائيات أخرى كانت تعمل كمكونات مفيدة• كانت أغلب التفاعلات بوتيرة بطيئة ، والخلايا البدائية التي لم تتوفر لها المواد لتسريع الاستحالات المفيدة لتضيع في النهاية بتفكيكها أو امتصاصها من قبل الخلايا الاكثر نجاحا•

كان الطريق التصاعدي الى البقاء مفتوحا للخلايا التي كانت التفاعلات فيها أسرع وأكثر نوعية بتزايد مطرد، وذلك لأن الكفاءة كانت السبيل الى التخلص من التفاعلات اللامقننة نحو التفاعلات النوعية التي أنجزت تمثيل منتوجات نوعية تخصصية • ان الانزيمات المساعدة هي محفزات عامة لصنف من التفاعل الكيميائي• غير انه، عندما ارتبطت بسلاسل البولي هضميتيدات تقبضت حركتها واختلطت بتفاعل البولي هضميتيدة مع الطبقة السفلية •

وظهرت انزيمات خام بدائية الى الوجود • وبالتدريج، خطوة فخطوة، فيما بحسنت الانزيمات باستبدال وتكبير الحوامض الامينية، أخذت تحصر دور الانزيمات المساعدة في التفاعلات النوعية الخاصة فقط بالجزيئات التيبوسعها أن تعمل بمثابة الطبقة السفلية بالتراكيب في شكل البروتين• بانتاج محفزات لتفاعلات نوعية مخصوصة انتظمت فوضى تواجد العديد من الانواع التفاعلية معا في الوسط الخلوي في مسلسل من التفاعلات النظامية • وبانتقال سيطرة التفاعلات الخلوية الى تمثيل الانزيمات، اصبحت عملية التمثيل الحيوي جينيا مبرمجة•

ان تمثيل محفزاتها الذاتية خلق للحياة أحدى خواصها الاكثر ديناميةً اصبحت ذاتية أو كيفية التحفيز (autcatalytic) • ان الخلايا التي طورت الانزيمات التي قامت بتسريع تمثيل الانزيمات لتسريع التفاعلات الى سرعة أكثر وأكثر بالتزايد لم تلبث ان سبقت الخلايا البدائية الاخرى •كانت هذه عملية دائرية (cylical) عزلت في الجوهر الآليات الخلوية من البيئة ورسخت الطبيعة الاستقلالية للخلية• ومع تلقيم وارد من الطاقة لدفع عملياتها وآليات التغذية الارتجاعية فيها للتحكم الذاتي الانتظام، انطلقت الخلية في مسيرتها في التطور البيولوجي • وأصبح استخدام الدوائر أو الدورات (cycles) في النهاية الطريقة السائدة في تكوين اشكال الحياة الذاتية الادامة[٢]•

كجميع التفاعلات الجوهرية لدى المنظومات البيولو... ...انت عملية تجزئة الغلوكوز الى حامض اللبنيك متواجدة قبل مجيء الانزيمات• قام تشارلز ديغاني (Ch. Degani) وأم هلمان[٣] (M. Halmann) بطرح الايضاحات على التجرد القلوي لسداسي فوسفات الغلوكوز (glucose 6-phosphate) يتم بدون فعل الانزيم بالتفاعلات المتوازية والمتتالية (أنظر المعادلة التالية):

انيديولات

فوسفات

غلوكوز

٦ ـ فوسفات الغلوكوز

٦ ـ فوسفات الفروكتوز

٦ ـ فوسفو غلوكوكاكاريد

ثنائي هيدروكسي‌اسيون فوسفات

غليسر الديهايد

ميثل غليوآكسال

حامض اللبنيك

استغلت الخلية عملية الغلكلة (glycolysis) المتواجدة بتوجيه مسلسل التفاعلات التلقائية من خلال حامض البيروفيك، وبمعونة الانزيمة المساعدة NAD استدرت بعض الطاقة الكيميائية المسببة في عملية التجريد لانتاج جزيئتين من الأتپ ATP ٨ .

وآنذاك اصبحت هذه الوسيلة لاستخراج الطاقة من البنية الكيميائية للمواد الموجودة في البيئة ، وتم رفع الغلوكوز الى دور مركزي كمصدر للطاقة الكيميائية عندما اتمت المتعضيات الدورة بتوليد الغلوكوز من حامض البيروفيك ، اضافة الى الغلوكوز، تمكنت الكلوستريديا وهي من اعتق اللاهوائيات ، من استخدام الكحول وحوامض الكربوكسيليك والحوامض الامينية كطبقات سفلية في التخمر، وهي مواد كانت لتتواجد في الاحتياطي ما قبل الحيوي[٤].

وقد اكتشف ان الكلوستريديا ، وايضا البكتيريا الضوء تمثيلية ، تملك القدرة على تثبيت ثاني اوكسيد الكربون بتفاعل يتم تحريكــه بالفريدوكسين المختزل[٥]. يؤدي تماثل او استيعاب (assiminlation) ثاني اوكسيدالكربون الى كربكسلة (carboxylation) انزيمة الاسيتيل المساعدةأ (acetylcoenzyme A) الى البيروفات وهذه تفضي الى تكوين هذه الحوامض الامينيـــة : حــامض الاسپرتيك ، وحوامض الغلوتاميك والالانين.

حتى مؤخرا كان يعتقد في العموم ان المتعضيات الارومية القديمة للارض كانت هيتروتروفات (hetertrophs) وهي لا ذاتية التغذية او الاعالة ، التي كانت تستخرج الطاقة الكيميائية من خلال تخمير الاحتياطي لدى المواد العضويـة ما قبل البيولوجية . لكن الاركي بكتيريا او البكتيريا الاركية ، وعلى الاخص الميثانوجين، ربما تكون اكثر قدما[٦]. واذا كان الجو البدائي قد تكون من إبنثاثات البراكين، كما هو المعتقد الآن، فانه كان ليتألف على وجه رئيس من ثاني اوكسيد الكربون ، والماء، والنيتروجين، والهيدروجين. ان اختزال ثاني اوكسيد الكربون بالهيدروجين الى الميثان والماء تفاعل تلقائي، لكــن الوتيرة بطيئة لدرجة تجعل من الممكن ان يكون قد تسخر بفعل منظــومة بيولوجية . وعلى ما يظهر استمدت الميثانوجين طاقتها الكيميائية من هــذا التفاعل بالذات. تستطيع بعض الميثانوجين المعاصرة من استخدام مصــادر أخرى قابلة التحويل الى ثاني اوكسيد الكربون ، مثل حــامض النمليك ، لكنها جميعها لا تستطيع مؤايضة مصادر عضويــة نموذجيــة مثلما تستطيع البكتيريا الاكثر تقدما[٧].

بدأت الخلايا الاولية كمنظومات استنساخ جينية تستمد مكوناتهــا من الاحتياطي ما قبل الحيوي (prebiotic reserve) ، وتم توسيع عدد الحــوامض الامينيــة بالاستحالات، وفي الاخير جــاء تمثيــل الانزيمــات بعمليــات

التآيض لدى المتعضيات التامة الوظيفية ، وهذه جميعها كانت تكييفات قديمة للغاية رسخت انماط الحياة لجميع اشكال الاحياء على الارض. لقد ازدادت البروتينات في العدد والتركيبة منذئذ، لكن الحوامض الامينية ثبتت واصبحت غير قابلة للتغير، فان أي تغير آخر في احدى لبنات البناء الاساسية ستكون له آثار تدميرية على فاعلية الآلاف من البروتينات في المتعضية الواحدة.

وفيما كان يجري ترسيخ الطبيعة الجوهرية للحياة ، كان شيء آخر غريب يحصل. فقد بدأت بعض الخلايا انتقائيا باستعمال قدر اكثر من ايسومر بصري من الحوامض الامينية والريبوز مما هو في آخر. ربما ان التفاضل بدأ ببطء ولكنه تسارع أسيا فيما استهلكت الخلايا حطام خلايا أخرى الى أن خلال فترة وجيزة كانت جميع الخلايا تستخدم بلا استثناء الحوامض الامينية من فئة الفا ايل (L-a-amino acids) وسكاكر من فئة (D-Sugars)S

تتضمن المركبات ذات الكاربون اللامتناظر (الكاربون ذو اربعة بدائل مختلفة) ايسومرين اثنين مجسمين (stereoisomers) لكل واحد من هذه الكاربونات (carbons) والايسومرات هي صور مرآتية واحدها للآخر لا تقبل الاعتلاء عليها (nonsuperimposable) ، وكنتيجة يقوم شكل واحد بتدوير (rotate) الضوء المستقطب الى اليسار (−) والآخر الى اليمين (+). وقد تم تأشير تضاريس الايسومرات البصرية (D) و (L) ليس لبيان اتجاه الدوران وانما كان تخصيصا اعتباطيا او مطلقا من الحوامض الامينية من كاربون الفا (a-carbon amino acids) ورباعي كاربون الخماسوزات او البنتوزات (4-carbon of pentose) مثل الريبوز، وخماسي كاربون السداسوزات او الهيكسوزات (5-carbon of hexoses) من مثل الغلوكوز.

في آلية التآيض الخلوية وبقيت فيها بوجه ثابت هي الانزيمات المساعدة (coenzymes) •

ان الانزيمات هي بروتينات ذوات خواص تحفيزية• ويمكن ان تكون سلاسل بولي هضميتيد بسيطة او بروتينات مقترنة مع حصة لا بروتينية ملحقة بها لاداء وظيفة نوعية• وعليه، فان الانزيمة المساعدة (coenzyme) هي القطعة أو الحصة من الانزيمة مطلوبة للقيام بهذا النشاط، ويمكن اعتبارها بالقطعة القابلة للفصل من البروتينات المقترنة • والعديد من الانزيمات المساعدة تحتوي على فيتامينات كجزء من بنيتها ، وفي العموم تقوم بوظيفة متقبلات للالكترونات او المجموعات الوظيفية•

مثل المكونات الجوهرية الاخرى، يبدو ان أغلب الانزيمات المساعدة تنتسب الى أصل قديم عتيق ، وربما انها هي وسابقاتها المباشرة اصبحت جزءا تام التكوين من المنظومات البيولوجية • أصبحت نووتيدات البيريدين (pyridine) (ناد NAD ونادپ NADP) متقبلات هيدروجين لتفاعلات الاكسدة ــ الاختزال ، واصبحت الانزيمة المساعدة أ (coenzyme A) الوسيلة لنقل الاسيل (Acyl transfer) • وهذه النووتيدات هي مشتقات ذوات تركيبة بسيطة نسبيا وكان يمكن ان تنشأ لا حيويا • وكانت الثيامين والبيريدوكسال والبيوتين (thiamine, pyridoxal, biotin) انزيمات مساعدة مستخدمة في نقل المجموعات •

يقوم الثيامين ، بصفة بيروفوسفات الثيامين ، في وسط قلوي بتحفيز شطر $-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-$ مع تكوين الديهايد نشيط (active aldehyde) وبهذه الطريقة تمكن الثيامين او نظيره البدائي من تسريع تجزئة البيروفات الى

خلات لتتوفر لتكوين (acetyl-S-Co A) ، وهكذا تم تحويل الاسيتيل ومجموعات الاسيل الاخرى (acetyl, acyl groups) الى الحالة المنشطة لتمثيل الغليسريد (gleyceride) ليتسنى للخلايا البدائية المباشرة باعداد الغشاء الدهني الخاص بهـا .

يشترك فوسفات البيريدوكسال في اصناف عديدة من التفاعلات . فهـو بوسعه تحفيز عمليات نزع الكربوكسيل ونزع الامينـات (deamination) وترحيل الحوامض الامينية . كما بوسعه ايضا نقل الكبريت من المثيونين الى السيرين لتكوين السيستين .

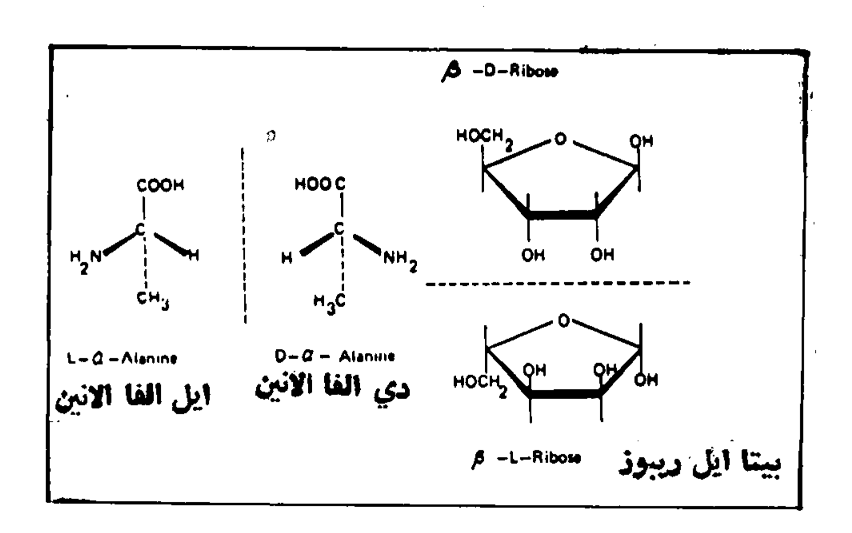
الشكل ٢/٢٥ ـ البيريدوكسال والبيوتين

يعمل البيوتين كأنزيمة مساعدة في تثبيت ثاني اوكسيد الكربون ونزع كربوكسيل الانزيمات . كما يوجد وفق ما أعلن عنه تفاعلات انزيمية أخرى للبيوتين مساس بهـا، الديهيـدروجناز والديكربوكسيـلاز السكسينيـة (succinic dehydrogenase and decarboxy lase) وايضا ديأمينازات حـامض الاسبرتيك، والسيرين ، والثريونين (deaminases of aspertic acid, serine, threonine)

كما يدخل البيوتين ايضا في تمثيل فوسفات الكرباميل (carbamyl phosphate) وصيغته :

$$\left(H_2—\overset{\underset{\|}{O}}{C}—O—PO_3H_2\right)$$

وهو مركب مطلوب لتمثيل البيريميدين .



كانت الانتقائية التجسمية (stereoselectivity) من قبل الخلايا البدائية خطوة عملاقة في اتجاه تنظم المادة في المنظومة الوظيفية التي نسميها بالحياة. ولما كانت الطاقات المطلقة او السائبة للايسومرات البصرية متطابقة الشبه (identical) في بيئة خاملة أو غير نشيطة بصرياً، فان تمثيل الحوامض الامينية، والسكاكر، والمواد اللامتناظرة الاخرى، ما عدا من قبل المتعضيات، يعطي عددا متساويا من الايسومرات المجسمة الممكنة. ومثل هذه الخلائط الاسيمية (lacemic mixtures) تعجز عن ابداء أي نشاط بصري. وعليه فان هذه الخاصية الفريدة للجزيئات البيولوجية عديمة النظير بحيث انها اعتبرت احدى صفات المنظومات الحية ، وكخاصية رئيسة يجري الاختبار لها في المواد العضوية من النيازك ، والقرارات الجيولوجية ، والتحريات الكوكبية للتثبت مما اذا كانت من أصل حيوي أم خلافه.

لقد حيّر لغز أصل النشاط البصري منذ عام ١٨١٥ حين اكتشف جان

بابتيست بيو (Jean Baptiste Biot) ان السكاكر ، وحامض الصامورك ، والكافور، وزيت التربنتين، تستدر الضوء المستقطب المنبسط في الحالة السائلة او المحلول ، ثم اكتشف باستور ان هذه هي سمة ذاتية نابعة من لا تناظرية الجزيئات الفردية ، وظنا منه ربما ان المجال المغنطي للارض هو العامل اللاتماثلي الذي يستحث التمثيل اللاتناظري، قام بمحاولة فاشلة لاعداد ايسومرات بصرية باستخدام مجالات مغنطية شديدة القوة . لكن خطأ افتراضه كان أحد اسباب اخفاقه ، وذلك لأن المجال المغنطي ودوران الارض كلاهما قوتان متناظرتان في واقع الحال .

يمكن فصل الايسومرات البصرية في المختبر بصعوبة بالغة فقط، وحتى آنذاك بالاستعانة عادة بايسومر نقي آخر، وظل التمثيل النوعي التجسم هدفا يقض المضاجع سنوات طويلة حتى بلغ اليأس بالعلماء في محاولاتهم تمثيل الايسومرات المجسمة حدا دفع أف آر جاب[٨] (F.R. Japp) في عام ١٨٩٨ الى احياء النظرية الحيوية بالاعلان ان التمثيل الاولي للجزيئات اللامتناظرة كان مستحيلا ، وان الجزيئات اللامتناظرة هي كالمتعضية الحية ، لا يمكن اشتقاقها الا من جزيئات لا متناظرة فقط .

لم يكن جاب مصيبا تماما في استنتاجه ، ولكنه شدد على السؤال: كيف نشأ النشاط البصري لدى المنظومات البيولوجية اذا كانت الخلايا الحية فقط تملك القدرة على انتاجه.

تنقسم النظريات التفسيرية حول كيفية صيرورة المنظومات البيولوجية تجانسية التجسم الى فئتين اثنتين: نظرية ما قبل الحياة ، ونظرية ما بعد نشأة الحياة . يحاول ادعياء النظرية ما قبل الحياة ايجاد الوسائل الطبيعية التي تمكنت من انجاز التمثيل النوعي التجسمي في المركبات ما قبل الحياتية . أما الآخرون فيحاججون بأن التجانسية التجسمية نشأت من اصول بيالوجية

قام فانت هوف[٩] (Van't Hoff) بدراسة الضـوء المستقطب كعـامل محتمل كان بمقدوره التسبب في نشأة التمثيل اللامتنـاظر في الاحـوال الطبيعة • وقد ورد الاقتراح منـذ ذلك الحين بأنـه كان بامكان الضوء المستقطب المنبسط جزئيا من السماء بتحوله الى ضوء يميني (right-handed) مستقطب دائريا وجزئيا عند انعكاسه على سطح الارض تحت تأثير المجـال المغنطي ان يؤدي الى تحليل الايسومرات البصرية • فتم وضع هذه الفرضية قيد الاختبار التجريبي بالتحطيم الضوئي المتجسم الانتقاء للايسومرات مـع الضوء المستقطب المستدار[١٠] (circularised) ، لكن نسبة التحليل او الفرز (resolution) المحققة كانت ضئيلة للغاية حتى بعـد تفسخ نصف مـواد المباشرة • ثم تضاءلت اهمية النتائج أكثر ازاء الحقيقة ان الضوء الطبيعي أقل استقطابا من الضوء المستخدم في التجارب • ولم تكن الاختبارات مقنعة كتفسير لإصل الايسومرية التجسمية•

توجد في الطبيعة بلورات عديدة نشيطة بصريا ، منها على سبيل المثـال بلورات الكوارتز اليمينية واليسارية ، وهذه البلورات تفقد نشاطها البصري عند الصهر أو الاذابة ، لكن الفقدان هذا لا ينشأ عن الجزيئات اللامتناظرة وانما عن الترتيبة اللولبية لسلاسـل السيليكون الاوكسجين في البلـورة (—Si—O—Si—O—) •فقـام هارادا[١١] (Harada) باستخـدام مسحـوق الكوارتز النشيط بصريا لتصويب توجه تكوّن بلورات الحوامض الامينية، الا ان الانشطة كانت ضئيلة بحيث انها قاربت حدود الخطأ التجريبي•

من الممكن في الاحوال المقننة (controlled) بعنايـة استحثـاث تبلـور تفاضلي للايسومرات البصرية من محاليل فائقة التشبع للخلائط الراسيمية أما بواسطة النثر او تلقائيا ، وقد امكن تحليل او فرز حامض الصـاموريك ، وحامض التفاحيك، وحامض اللبنيك ، والثريونين ، والهستيدين ، وحـامض

الغلوتاميك، وعديد غيرها بهذه الطريقة • يستخدم اسلــوب النثر أو البذر (seeding technique) على هذا النحو في اليابان لاعــداد ايل-غلوتامــات المونوصوديوم صناعيا (monosodium L-glutamate) • الا انه رغم ان هــذا الاسلوب يبدو رائقا للغاية، فانه من الصعــب تصوره كأصل لنشأة النشاط البصري البيولوجي• فهو لا يبدي أي انتقاء تفضيلي لايسومر على ايسومر آخر، ثم ان الاحوال المختبرية مثالية أكثر مما يمكن اعتباره وسطا طبيعيا•

لقد طرح ان النشاط الاشعاعي الطبيعي ربمــا كان عــاملا مساهمــا في الانتقائية المجسمة (stereo-selectivity) لدى المتعضيات البدائية[١٢]، وقام أم كــولدهــابر[١٣] (M. Goldhaber) وآخــرون بالتــدليل على تقطــب الكترونات تفسخ بيتا (beta-decay electrons) المنبثة من (^{60}Co) بالالتفاف في اتجاه واحد • ولا يستبعــد عقلانيــا ان تكون لا تماثليــة (dissymmetry) هذه الجسيمات البدائية قد أثرت في الجزيئات بقوة فيزيــائيــة لا تناظرية (asymmetrical) • وفي مقالة حديثة في (أصــل الحياة Origin of Life) اقترح ايج بي نويز (H.P. Noyes) ودبليو أي بونر (W.A. Bonner) وجيه أي توملين (J.A. Tomlin) من جامعة ستانفورد ، انه من الممكــن أن تكــون الكترونات تفسخ بيتا من الكربون اربعــة عشر في الحــوامض الامينية (^{14}C in amino acids) قد اظهرت بعض التحطيم الانتقائي للدي ايسومر (D-isomer) ، غير انه يبدو ان هذا التفاعل يعمل على اللوسين فقط، كمــا انه من المشكوك في ما اذا كانت وتيرة التحويل سريعة بما يكفي لتجــاوز قدر الريسمة او التريسم (racemisation) •

ليست الايسومرية البصرية في الحوامض الامينية والسكاكر تضريســة

مستقرة مطلقاً. وعندما تتريسم (isomerise) الايسومرات البصرية تفقد نشاطها بالتوازن نحو عدد مساو من كلا الايسومرين . كما ان الحوامض الامينية النشيطة بصريا تتريســم من خلال تآين الفــاـهيدروجين (hydrogen) بوتيرة مستقلة عن مستويات (يدˆ) ما بين (٣) و(٨)، ولكنها تتأثر بدرجــة الحرارة . وانصاف اعمار الايسولوسين، والألانين ، والفنيل الانين ، تبلغ على التوالي (٣٥٠٠٠) سنة و(١١٠٠٠) سنة ، و (٢٠٠٠) سنة في درجة حرارة (٢٥°) مئوية[١٥].

ان الصعوبة في المحاولات لايجاد تفسير ما قبل الحياتي للنشاط البصري تكمن في أن جميع الاحوال المعتقد انها كانت متواجدة في البيئة البدائيــة تحبذ ريسمة الايسومرات البصرية وليس مراكمتها. وعليه لابد ان المتعضيات البدائية تبنت اسلوب الانتقائية المجسمة بكيفية ما، وبسبب فائدة ملازمة لــه انتشر في جميع اشكال الحياة على الارض.

ولا يحتاج المرء الى التوغل في اعماق البيولوجيا الجزيئية ليبحث عــن الجواب، فانه يمكن تشييد حامض نوويك مزدوج الوهن تناسخي أما من جميع الدي ــ ريبوتيدات (D-ribotides) أو مــن جميع الايــل ــ ريبــوتيــدات (L-ribotides) ، الا انه لا يمكــن تشييــد بنيــة انتظــامية مــن خليط من الاثنــين[١٦]. يتطلــب التغيــير مــن دي ــ الى ايــل ــ بيتا ــ يــوريــديــن (from D- to L-Beta-uridine) قلب كل بديل في مستوى حلقــة الريبوز. فاذا أجريت محاولة لدس ايل ــ بيتا ــ يوريدين في لولب حــامض النوويك مزدوج الوهــن، فانه سيظهر ان ثــلاثي وخمــاسي تكافؤ الهيدروكسيلات (3'-and 5'-hydroxyls) لا تترابط على الوجــه الصحيح مع النووتيــدات المجاورة.

يتكثف حامض دي_ادنيليك (D-adenylic) المنشط مع دي_ادنوسين (D-adenosine) ولكن ليس مع ايل_ادنوسين في مرسومة حامض بولي_دي_يوريديليك • وقد كانت بولي نووتيدات المتعضيات البدائية نشيطة بصريا ليس بفعل تكوّن طبيعي غامض محيِّر لايسومرات معينة، وانما فقط لأن البولي نووتيدات نوعية التجسم كانت لتعمل في الآلية الجينية•

وعلى نفس الغرار ، ان التضريسة اللولبية هي التي تمنح البروتين شكله النوعي• وعلى شكله النوعي هذا (specific shape) تعتمد قابليته للانحلال وقدرته على التبلور وعلى الدخول في تفاعلات كيميائية نوعية مع جزيئات أخرى• يمكن تحقيق تشكل تطابقي محدود مع الحوامض الامينية التي ليست بصريا نقية، الا ان التأثيرات الحيزية تعوق البنية بشدة • انما يبدو أن تنويعة متسقة (assortment) عشوائية من فضلات الحوامض الامينية ايل_ودي_تجعل لولب الفا مستحيلا • ربما ان الخلايا الناشئة استدمجت الحوامض الامينية الايل_فقط عندما حصل تمثيل الهضميتيد بترجمة البولي نووتيدات المتجانسة التجسم، وكانت فقط الحوامض الامينية من نفس التوجه الحيزي لتتراصف على الوجه الصحيح لغرض التكثيف • (ملاحظة: توجد استثناءات للتجانسية التجسمية في المنتوجات الطبيعية • فمضادات الحيوية من غراميسيدين وتايروسيدين gramicidin, tyrocidine وغيرها هي هضميتيدات مع الحوامض الامينية ديمدمجة في سلاسلها)•

جميع المنظومات البيولوجية على وجه الارض تستعمل نفس الايسومرات البصرية• الا انه يفترض ان متعضية تستخدم حوامض امينية من ايل _ ريبوز ودي_ريبوز كانت ستعمل بنفس الفعالية كنظائرها التي تطورت • فاذا كانت المواد ما قبل الحياتية راسيمية لماذا اذن لم ينشأ كلانوعي

D-β-Uridine دي بيتا يوريدين

L-β-Uridine ايل بيتا يوريدين

المتعضيات؟ في الحقيقة لا يسعنا الا أن نحـدس ان الخلايا البدائيـة التي استخدمت دي–ريبوز نشأت قبلا وكانت تملك ما يكفي من القدرة للقيام بتمثيل العديد من مكوناتها قبل ظهور أي من اضدادها.

حصلت محاولات لتمثيل ظهور الخلية الاولى بمثابة «حرب» بين المتقابلين (antipodes) البصريين على خزين المواد ما قبل الحيوية . ألا ان هذا يبدو غريبا لأنه لم يكن أي من الصنفين ليستخدم ايسومرات الآخر. انما بالاحرى يبدو أكثر معقولية انه نشأ صنف واحد من الخلية البدائية وأن الحـوامض الامينية والسكاكر التي قامت بتمثيلها انزيماتها النشيطة بصريا لم تلبث أن انتشرت بسرعة وطغت على جميع المواد البيولوجية بصنف نشاطها البصري.

وعليه ، اذا كانت جوهريا جميع المادة العضوية على الارض من أصل حيوي، فان مقدار المادة العضوية ما قبل الحيوية التي تواجدت على الارض البدائية، ربما مبالغ فيه الى حد كبير • وقد أشار هارولد بلوم[١٧] (Harold Blum) أنه اذا كان كل الاوكسجين على الارض يعادل مقدارثاني اوكسيد الكربون الذي تم تماثله في الكربوهيدرات، فان هذا يساوي ٤×١٠^١٩ مولة (أي جزيئي غرامي)• وبوتيرة التأيض الحالية ، بدون مزيد من التجديد بالتمثيل الضوئي، ستدوم المواد العضوية كامدادات غذائية لما يناهز ثلاثة آلاف سنة فقط، ولما كانت وتيرة الاستعمال الحالية أسرع بكثير منهافي الازمنة البدائية، فان تقديرا تقريبيا لمدة فترة تواجد الحياة البدائية قبل تنشئة التمثيل الضوئي لا يمكن ان يقع في أكثر من بضعة عقود من آلاف السنين•

يوحي هذا التقدير الى أن التمثيل الضوئي ظهر قريبا جدا من بداية الحياة • كما انه ايضا يدل على انه لم يكن يوجد أي تراكم هائل من المادة العضوية ما قبل الحياتية على الارض البدائية لادامة الحياة لأي فترة من الزمن• لم يكن يوجد أي «حساء بدائي» اسطوري ما عدا على نطاق محلي ضيق• بدأت الحياة بتراكم ضئيل من الطلائع واستمرت في البقاء فقط بصيرورتها ذاتية الادامة•

اقدم الاحافير المجهرية
التآيض الانزيمي
نشوء الانزيمات
التمثيل الحيوي للهضميتيدات
نشوء مسلسل آر ان اي ناقلة
آر ان اي ناقلة تظهر
نمو ضوء تمثيل بدائي
اللامنوسومات تغلف البولي نووتيدات
البولي نووتيدات والهضميتيدات تتكون
انتاج ابنات بناء الحياة
جو ثانوي يتكون
أصل الارض

الشكل ٣/٢٥ - توالي الاحداث المفترض انها افضت الى تكون خلية مجهرية بيولوجية. فقط اصل الارض وعمر اقدم احفورة مجهرية مؤرخان مختبريا.

Oldest microfossils
Enzymic metabolism
Evolution of enzymes
Biosynthesis of peptides
Series of tRNA's evolve
Transfer RNA appears
Rudimentary photosynthesis develops
Liposomes engulf polynucleotides
Polynucleotides and peptides form
Building blocks of life produced
Secondary atmosphere forms
Origin of the Earth

4.6 Billions of Years 3.4

Figure 25.3. Sequence of events postulated to have led to the formation of a biological cell. Only the origin of the earth and the age of the oldest microfossil have been dated experimentally.



الفصل السادس والعشرون

طرائق اخرى ، اماكن اخرى

ان العقبة الكبرى في رسم كيف بدأت الحياة كانت نجاح تطورها بذاته. فان كفاءة تعقدية أي كائن حي، حتى ابسط متعضية مجهرية، رهيبة مهولة لدرجة انها قد خلقت الفكرة ان الحياة لم يكن يمكن أن تتواجد الا بشكلها الحالي. ان صورة آلاف الجزيئات العملاقة متوافقة منسجمة بتناغم تام دقيق في عبوة أصغر بكثير مما يمكن رؤيتها تنشأ بلا عون من مواد بسيطة وتصبح حياة كاملة تبهر العقول . معذلك، نظرا لضخامة طول الزمن الذي تواجدت خلاله الحياة على الارض، فقد استلزمت النشأة حصول تغييرات متوالية في بروتينات فردية على فترات تبلغ بضعة ملايين من السنين بين تغيير وآخر. ان الصعوبة في الأمر هي ان أفكارنا مقتفلة في حجم وزمن عالمنا الحالي. انما فترة عمر الفرد ، وعمر الحضارة ، والفترة منذ ان اصبح الانسان نوعا ، ليست سوى لحظات عند مقارنتها بالثلاثة آلاف مليون سنة التي استغرقتها الخلية البدائية للتطور الى مستوى السمك الهلامي. بقيت الحياة بمستوى متعضيات مجهرية احادية الخلية طوال ثمانين بالمائة (٨٠٪) من مجموع زمن تواجدها على الارض.

بارتباطها ارتباطا وثيقا مقفلا بنشأة الارض ذاتها، تحصل الحياة مرة واحدة فقط . ذلك لأن المواد ما قبل الحياتية التي افضت الى بداية الحياة امكن تكونها فقط في الاحوال الاختزالية السائدة في الجو البدائي، وظهرت اليوكاريوت فقط بعد تطور مديد للبروكاريوت وبالاستجابة مع اكسجة البيئة ، وتسنى ظهور المتعضيات المتعددة الخلايا فقط بعد تجاوز تركيز الاوكسجين الطليق في الجو لنقطة باستور ، وجاء استيطان القارات بعد أن نشأت طبقة الاوزون في أعالي الجو كدريئة واقية لحجب الاشعاع

ما فوق البنفسجي.

وما ان جاءت الحياة الى الوجود، فانها لم تملك من نفسها الا ان تواصل السير في اتجاه واحد، قدما من البسيط الى المعقد . وقوى الانتقاء الجانحة الى التنوعات الافضل تمكنا من ضمان استبقائها وتناسخها حملت الحياة الى أمام. وكانت نتيجة ذلك الانتقاء التوجه قدما الى كفاءة وقدرة أعظم باطراد. فيما عبرت المتعضيات مرحلة الخلية البدائية من التعقيد كف كيانها عن كونه فطريا ذاتيا في بنيتها الكيميائية وارتبط ارتباطا وثيقا ومقفلا بالمكونات النوعية التي تبرمج تمثيلها جينيا في تركيبة الخلية . وعندما بلغت المتعضيات هذه المرحلة انقطع عنها خط الرجعة ، ولم يكن بوسعها الا المضي قدما . كانت الحياة الآن قد آلت الى وتيرة الرتابة حيث لا يمكن لخلية النشوء الا من خلية حية سابقة . (ملاحظة: يبدو ان الفيروسات والريكيتسيا تطورت بعكس هذا المبدأ، لكنها على ما يظهر اشكال ممسوخة ، بدلا من اصناف اكثر تطورا).

وعندما بلغت المتعضيات مستوى التعقيد حيث لم يعد معه الالتئام الذاتي ممكناً، ابتنى شبح الموت واصبح جزءاً من الحياة، استلزم نمو التعقيد اتحاداً تاماً، ومع كل خطوة في التطور، حيثما تفكك التئام مقومات الخلية، أصبحت فرص التئامه ثانية في وحدة وظيفية اقل احتمالاً، وأصبحت الحياة المفقودة حياة لا تستعاد، وارتهن استمرارها بنقلها الى أجيال جديدة.

ان لبنات البناء للمنظومات البيولوجية هي النووتيدات، والحوامض الامينية، والكربوهيدرات، والدهنيات، وتتألف الريازة من بوليمرات شبه مسلسلة من هذه الوحدات ملتئمة معاً في كيان خلوي متكامل التوافق. بقيت اللبنات هي نفسها، لكن البوليمرات نمت وتنوعت، منتحتة بفعل تغيير التبدل الطفري وضغوط الانتقاء الطبيعي. أما الانزيمات، التي تعمل طبيعتها على تحديد وتثبيت الخواص الفيزيائية والكيميائية للمتعضية، فقد واصلت التعرض لفعل التغيير التطوري، مواكبة مبدأ الاستمرارية باتباع كل خطوة في التطور بسابقتها في زحف مطرد منذ ما يقرب من اربعة آلاف مليون سنة.

كانت النتيجة ان المتعضيات احتفظت بطبيعتها الجوهرية ولكنها انقسمت وتطورت الى تنويعات شتى هائلة بغية استغلال جميع المصادر الكيميائية والطاقوية، والاشكال المختلفة المتضاربة والبشعة الى حد اللامعقول للحشرات والاحياء المجهرية تشهد على الهيئات التي تستطيع الحياة ان تتخذها لبلوغ هذا الهدف. كما ان الاحوال التي تتمكن المتعضيات الاعتياش فيها ومواصلة البقاء في بقعة بيئية مذهلة حقاً. فبوسع الطحلبة سيانديوم كاليداريوم (calidarium cyandium) في محاليل مركزة من حامض الكبريتيد الحار، ويقال ان بوسع البكتيريا المنتجة للكبريتات ان تنمو وتتكاثر في درجات حرارة تبلغ (١٠٤°) مئوية تحت ضغوط عالية، والعديد من المتعضيات

تستخدم مقاومات تجمد عضوية ولا عضوية لتخفيض نقطة التجمد لسوائلها الباطنية ليتسنى لها العيش في عدة عشرات من الدرجات تحت الصفر المئوي. بعض الحشرات تستعمل كبريتوكسيد الدايمثيل (dimethyl sulfoxide) كمضاد للتجمد.

وعليه، ان البيئات التي تستطيع الحياة والتواجد فيها متطرفة ومتنوعة، والامثلة العديدة توضح قدرة المنظومة البيولوجية على التكيف من خلال الانتقاء من التنوع في الانزيمات والعمليات المشتقة منها . ومع ذلك، فجميع اشكال الحياة المختلفة هي في الاساس واحدة نفسها، تستخدم حوامض النوويك كمخزنها للمعلومات وتستخدم الانزيمات لتحفيز تحويلاتها الكيميائية . كما ان لبنات البناء متطابقة نفسها ايضا، انما تختلف المتعضيات في البنى المركبة منها فقط.

وبالنتيجة، عندما نتأمل امثلة الحياة، نجد انه يوجد واحد منها فقط.

ان المسألة هي ما اذا يوجد مثال واحد من الحياة لأنها تستطيع التواجد فقط في شكل واحد، وعليه فهي فريدة فذّة، أم ان هذا هو الشكل الذي تخلف في البقاء من بين عدد من الاشكال الممكنة كان بوسعها التواجد فيها . سبق لنا ان تأملنا الفكرة ان المتعضيات تستخدم الحوامض الامينية ايل الفا (L-amino acids) وسكاكر دي (D-Sugars)، لكن ليس ثمة مبرر لعدم تكونها من حوامض امينية دي الفا (D) وسكاكر ايل (L-). كما كان بوسع المدونة الجينية (genetic code) ايضا ان تتألف من تشكيلات أخرى بدون التضحية بأي قدر من الكفاءة والفعالية . توجد حالات حصل فيها انتقاء ليس من جراء فائدة تجنى، وانما بسبب امكان استعمال متقابل قطبي (antipode) واحد ومدونة واحدة فقط، وأملت الاختيار في حينها الظروف

المحيطة . غير انه ما ان التأمت الخلايا الحية حتى اصبحت جميع الكائنات الحية مرتبطة في صنف واحد من المنظومة البيولوجية طوال بقية تواجد حياتها.

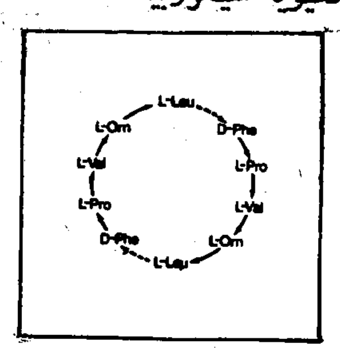
هل كان يمكن أن تبدأ الخلايا البدائية بصورة مختلفة ؟ تقول ميري ايلين جونز (Mary Ellen Jones) من جامعة براندايس وفريتز لبمان (Fritz Lipmann) من معهد روكفيلر انه كان بامكان المتعضيات الحية الاولية أن تستخدم البولي فوسفات اللاعضوية بدلا من الأتب (ثلاثي فوسفات الادنوسين) لاستحالة الطاقة (energy transformation) . فاذا كان البيروفوسفات قد سبق الأتب كمركب الفوسفات الاولي الغني بالطاقة ، فانه من الممكن ان تتواجد بقايا تآيضية من هذا الصنف بين الاصناف البدائية من المتعضيات على قيد الحياة اليوم. وبالفعل ، وجد ان الامر كذلك، فقد اكتشف آي أس كوليف[٢] (I.S. Kulaev) وجود بكتيريا وفطريات تتضمن انزيمات تقوم بتحفيز تمثيل البيرو فوسفات اللاعضوية بدلا من الأتب، ووجد بالتشفسكي[٣] (Baltscheffsky) ثمانية تفاعلات تشمل بولي فوسفات لا عضوية في البوصيات الملونة او الكروماتوفور (chromatophores) عند البكتيرة رودوسبريلوم روبروم (Rhodospirillum rubrum) ، وهي بكتيرة ضوء تمثيلية. فاذا كان البيروفوسفات قد استخدم قبل الأتب في التآيض الخلوي فانه ربما كان قد اهمل من جراء قدرة النووتيدة على اقامة علاقات ارقى وأكثر نوعية مع الايضات الخلوية ، اضافة الى قدرة الأتب على انجاز وظائف أخرى بعيدة عن متناول البولي فوسفات اللاعضوية.

هناك فكرة أخرى تفيد ان ربما كان يتم تمثيل الهضميتيدات البدائية بطريقة سبقت تمثيل البروتين الريبوسومي حيث سياق الحوامض الامينية مدون لـ

في سياق قاعدي لحامض نوويك . ان الغلوتاثيون وحامض البولي غلوتاميك (Glutathione, polyglutamic acid)

-L-Glutamyl-L-cysteinylglycine=Glutathione)

ـ٦/ـ كاما ـ ايل ـ غلوتاميك ـ ايل ـ سيستينيل غلايسين) هما هضميتيدتان غير مدوتتين[٤]، مثلماهما الغراميسيدين اس والتيروسيدين (gramicid S, tyrocidine) مثلهما عقاران ضد الحيوية الميكروبية.



الشكل ٢/٢٦ - بنية الغراميسيدين اس.

يتألف الغراميسيدين اس من هضميتيدة عشرية دائرية (cyclic decapeptide) تضم سلسلة مكررة من خمسة حوامض امينية مختلفة تشمل الدي ـ فنيل ألانين (D-phenyl alanine) والاورنثين (ornithine) اللذين لا يتواجد كلاهما في البروتينات. واكتشف لبمان وزملاؤه[٥] ان كسرين انزيمين متحدين من البسيلاس بريفس (Bacillus brevis) يقومان بتمثيل الهضميتيدة العشرية هذه عند تغذيتهما بالأتپ والمغنسيوم ++(ATP, Mg++) وخمسة حوامض امينية.

يبدو ان الهضميتيدة الخماسية (pentapeptide) تتكون بآلية مماثلة للطريقة التي يتم بها تمثيل الحوامض الدهنية . ولتمثيل الحوامض الدهنية

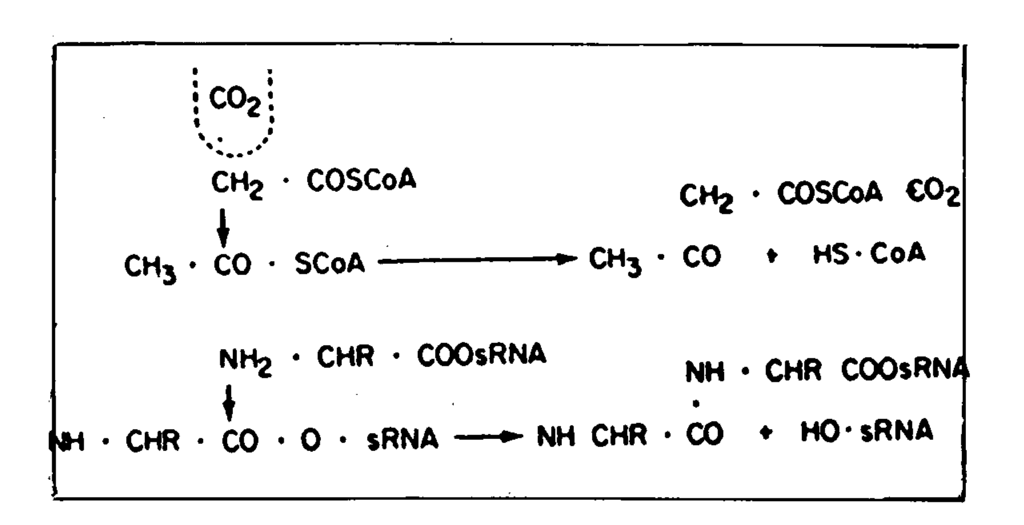
(fatty acids) يتم تكثيف واختزال مشبوكات الانزيمة المساعدة أ ـ استيل ـ اس (acetyl-S-coenzyme A complexes)اثناء بقائها مرتبطة بالجهاز المتعدد الانزيم. وقد وجد لبمان انه يتم تمثيل الهضميتيدة الخماسية للغراميسيدين بطريقة مماثلة ، ابتداء بالدي فنيل الانين متبوعا على التوالي باضافة البرولين، والفالين، والاورنثين، واللوسين ، وينجز تمثيل الغراميسيدين بارفاق سلسلتين في جزيئة الهضميتيدة الخماسية الدائرية . كما تقوم البكتيريا بانتاج التيروسيدين بنفس الطريقة[٦]. لكن البولي هضميتيدات التي يتم تمثيلها بهذا الاسلوب محدودة الطول، واطولها هي المضادات للحيوية ذوات السلاسل المستقيمة المتألفة من خمسة عشر (١٥) حامضا امينيا.

بما ان تمثيل الحوامض الامينية جوهري الضرورية للغشاء الخلوي فلابد انه يعود الى أقدم اشكال التمثيل الحيوي لدى الخلايا البدائية . ويقترح لبمان[٧] أن الشبه بين تمثيل الحوامض الدهنية وتمثيل العقاقير المضادة للحيوية ربما يدل على ان هذه الطريقة أكثر عتاقة من تمثيل البروتينات الريبوسومي الارتباط.

الا أن انزيمات الكبريهدريل (sulfhydryl) مجموعة عادية ولا يوجد ما يدل على ان نوعية الانزيم في ربط الحوامض الامينية بهضميتيدات صغيرة تختلف بأي وجه عن ارفاق مجموعة كيميائية في تمثيل مركبات أخرى. يتم هذا التفاعل بوساطة محفزات بروتينية مشبوكة ولو كان قد سبق الانزيمات الى الظهور فانه كان ليكون لا نوعيا. انما الأكثر احتمالا هو أن هذا التمثيل اللاريبوسومي لا يسبق الانزيمات بل ان البكتيريا طورته لاضفائه فائدة ما بجعل تمثيل العقاقير المضادة للحيوية يتم في موقعه في جدار الخلية أو مكان مماثل بواسطة الانزيمات.

بالرجوع خطوة أقدم في الزمن يمكننا المساءلة اذا كان يمكن أن تتكون الحياة من لبنات بنائية غير النووتيدات والحوامض•

في بادىء الامر استلزم قيام أقدم الخلايا توفر طريقة للتناسخ الجزيئي لكي تكون حية جينياء كما استلزم أن يكون الاساس بنية كيميائية تتماسك بوحدات كيميائية أخرى على نحو متسق اثناء تكاثفها لخلق نسخة من ذاتها ، ولزم أن يكون الترابط قويا بما يجعله وظيفيا ولكن ايضا ضعيفا بما يتيح للنسخ أن تنفصل بعد الانتساخ• اضافة الى كل هذا، لكي تعمل المادة الجينية بمثابة المركز المعلوماتي لجميع المكونات الخلوية في متعضية حية أيضياء لزم أن تتألف من عدة وحدات، أي انه توجب عليها أن تضم قطعا معلوماتية عديدة في باطن جزيئة كبرى•



الشكل ٣/٢٦ ــ مقارنة بين تمثيل الحوامض الدهنية وتمثيل الهضميتيدة اللامرموزة•

يتألف أساس المـادة الجينيـة للحيـاة على الارض من البيورينـات والبريميدينات مع اربطتها الهيدروجينية • لكن هذه الكيميائيات لوحدهـا تعجز عن اداء جميع المتطلبات نظرا لعدم قدرتها على التكثف مع بعضهـا البعض لصنع البوليمرات، انما يمكنها التكثف مع السكاكر وهذه يمكن فسفرتها ، فتستطيع وحدات النووتيدة الارتباط في اربطة اسهامية ثنائيـة الايستر • غير ان ما يثير الاهتمام هو انه حتى بعد كل هذه العملية الشـديدة التعقيد لصنع بوليمرات تتضمن قواعد دائرية لا تجانسية ، لا تقوم البولي نووتيدات بصنع النسخ مباشرة بل انهـا تصنع «السوالب» (negatives) فقط، وهذه تعمل كمرسومة (template) تؤخذ النسخ عنها•

تبدو هذه طريقة معقدة ومتواشجة للغاية ، ولكنها واصلت البقاء وتبنتها الخلايا البدائية لسبب واحد هو انه يمكن نسخ أو نقل بنية البولي نووتيدة ليس فقط الى بولي نووتيدة أخرى وانمـا يمكن ايضا ترجمتهـا الى مواد كيميائية من طبيعة مختلفة ووظيفة مختلفة ، أي الى هضميتيدات التي تطورت الى محفزات شديدة القوة•

للوهلة الاولى تبدو الحوامض الامينية بأنها الاختيار المنطقي لتكوين الجزيئات المعلوماتية ، فهي متنوعة وتضم مجموعة كربوكسيل وامينية تتيح للوحدات الارتباط ببعضها البعض • غير انه رغم قدرتها على تكوين البوليمرات بطريقة اكثر مباشرة من البيورين والبريميدين، فانها تعجز عن القيـام مقام الجزيئات المعلوماتية لتعذر استخراج المعلومات ، ولا تقوم سلاسلها الجانبية بالتفاعل بدقة بالطريقة التي تتسم بها القواعد• وكنتيجة ، لم تصبح عملية نسخ وترجمة البولي هضميتيدات ممكنة لدى المنظومات البيولوجية قط• (ملاحظة: يبدو ان العامل المسبب لداء العصب (scrapie) في الاغنام هو شكل تناسخي بحجم الفيروس يتضمن البروتين ولكن بدون حامض النوويك[٨]، لا تزال

طريقة تكاثره رهن التحديس ، لكن جيه اس غريفث[٩] (J.S. Griffith) اقترح ان البروتين يعمل كمستضد (antigen) لاذكاء جسم مضاد (antibody) مطابق له تماما)٠

قامت الحياة بطبيعتها الخاصة البيولوجية المتألفة من البيورين والبريميدين والحوامض الامينية، لأن هذه كانت هي المواد الكيميائية المتوفرة على الأرض ما قبل الحياتية ٠ وتولدت السيانيدات (cyanides) بفعل الطاقة على الغازات البركانيةللارض البدائية، فتكثف سيانيد الامونيوم بوجه رئيس الى بيورينات وعدد صفوة من الحوامض الامينية الألفاء في الظاهر كان تكون البريميدينات ابطأ ولكنها كان يتم امتصاصها انتقائيا لتندمج في الاجهزة الوظيفية ٠ انما الاكثر اعجابا في الامر هو ضآلة عدد الكيميائيات التي تكونت عن عملية التكثف ، وكانت رغم ذلك قواعد كافية لتوليف الخلايا التيأصبحت اشكال الحياة الذاتية الادامة٠

فقط اربعة عناصر، وهي الكربون، والهيدروجين، والنيتروجين، والاوكسجين، تشكل ثماني وتسعين بالمائة (٩٨٪) من تركيبة البروتوپلازمة، وباستثناء الهيليوم، هذه هي العناصر الاربعة الاكثر غزارة في الكون، وعليه، لا يمكن أن تعزى نشأة الحياة الى عناصر نادرة ، ولا تتألف لبنات البناء من مركبات غير اعتيادية، بل انها تتكون بسرعة وسهولة من تكثيف السيانيد٠ ومن بين الستة والثلاثين (٣٦) عنصرا التي تستعملها المتعضيات ، وجد جيه ايج ماكليندون (J.H. McClendon) أن تسعة منها فقط جوهرية ، وهي الكربون ، والهيدروجين ، والنيتروجين ، والاوكسجين، والفوسفور ، والكبريت ، والمغنيسيوم ، والبوتاسيوم، والحديد٠ أما السبعة والعشرون الأخرى فليست جوهرية للحياة ولكنها اندمجت فيها لأنها كانت مفيدة وكانت متوفرة في البيئة بكميات كافية٠

كما انه من بين التسعة عناصر الجوهرية المذكورة اربعة منها فقط، هي الكربون ، والهيدروجين، والنيتروجين، والاوكسجين، تتميز بمفذاذية فريدة تجعلها لا يمكن الاستغناء عنها لتشييد بنية المنظومة البيولوجية • أما العناصر الخمسة الأخرى، أي الفوسفور ، والكبريت، والمغنيسيوم، والبوتاسيوم، والحديد، فان خواصها الكيميائية في الاحوال الارضية تجعلها جوهرية لكيميائنا الحياتية المتطورة • الا ان هذه الخواص لا تقتصر استثنائيا على هذه العناصر فقط وانما تتواجد لحد ما ايضا في عناصر أخرى منتسبة اليها، فانه من المعقول ، في بيئات كيميائية مختلفة ان تنشأ منظومة بيولوجية حيث يأتي الزرنيخ بديلا للفوسفور ، والسيلينوم للكبريت ، والمنغنيز للمغنسيوم، والروبيديوم للبوتاسيوم، والكوبلت او النيكل أو الغناديوم للكبريت •

أما الكربون، فهو عماد الحياةالرئيس، فهو بقدرته العجيبة على الارتباط مع العديد من العناصر بما فيها ذرات الكربون الأخرى، وتشكيل تنويعةرهيبة هائلة من التوليفات ، يعلو على جميع العناصر الأخرى قاطبة بصفته مكون صروح المنظومات البيولوجية • وهو جوهري يستحيل الاستغناء عنهوشائع بحيث يخال للمرء أن الحياة مبنية على الكربون حتماء ورغم ذلك، يوجد عنصر آخر ايضا كثير الشيوع على الارض ويملك القدرة على ربط نفسه وعناصر أخرى في سلاسل طويلة وتوليفات مختلفة شتى مثل الكربون الى حد كبير، ، وهذا هو العنصر سيليكون (Silicon) •

بوسع السيليكون ان يكون مركبات سلاسل (س-س) (Si-Si) لكن هذه أقل استقرارية من نظائرها الكربونية ، اذ تبلغ قوة الرابط كربون-كربون دیناحراریا او ثرموديناميكيا زهاء ضعف قوة الرابط سيليكون - سيليكون• من جهة أخرى يملك السيليكون الفة شديدة للاوكسجين ، وتشكل سلاسل (Si-O-Si-O) المستقرة للغاية الصفائف البللورية للكوارتز

وفلزات أخرى عديدة • يتحد الكربون ايضا مع الاوكسجين بسهولة ، لكن الناتج يختلف تماما • اذ بينما ثاني اوكسيد السيليكون يشكل مكونا للرمل، يشكل ثاني اوكسيد الكربون غازا، وخاصية التطاير في المركبات الكربونية هي التي أفضت الى تركيز الكربون في النطاق المائي والجوي للارض•

لا يمكن أن يكون السيليكون اساسا صحيحا للمنظومات البيولوجية ابدا، انما توجد فرضية تفيد لربما أن فلزات السيليكون لعبت دورا في نشأة الحياة• يقول أيجي كيرنز سميث (A.G. Cairns-Smith) من جامعة كلاسكو أن باعتقاده أن الخلية الوظيفية كانت لتكون اكثر تعقيدا من أن تلتئم من لبنات البناء ما قبل الحياتية ضمن فترة معقولة من الزمن وفي الظـروف العادية ، ويطرح بدلا من ذلك أن الحياة نشأت بواسطة الانتقاء الطبيعي من بلورات لا عضوية•

عندما تتشكل البلورات تظهر العيوب كثيرا في الشبكية وتنتسخ هذه في تبلورات أخرى، وبما ان تناسخ هذه العيوب ذاتي الانتقاء، فانه يمثل تناسخا لا يختلف عن تناسخ الحوامض النوويك• وفي الحقيقة بوسع العديد من انواع البلورات ، من حيث المبدأ أن تستوعب قدرا كبيرا من المعلومات، ويمكن أن تكون الكثافة المعلوماتية في بلوريت (crystalite) الصلصال الغرواني مدانية لنظيرتها في الدنا DNA •

يحاجج كيرنز سميث انه كان بامكان بلورة كجينة بدائية أن تتحكم في تطور الجزيئات الكبرى العضوية من خلال التصاب الجزيئات العضوية بها• كانت نشأة الجينوغرافات (geneographs) البدائية لتتم من خلال التطـور الدقيق الانتقائي الذي تضمن خاصية تواصلية لبلوريتات الصلصال الذي احتواها، وأخيرا يعتقد أن المتعضية الاولى ظهرت بفعل استحـالة جينيـة

(genetic metamorphosis) فيما تولت الجزيئات الضخمـة العضويـة بالتدريج آلية التحكم ونبذت البلوريتات.

رغم ان الكيميائيات التي قامت منها الحياة عادية ، فربما ان ظروف تطور الارض كانت غير عادية للغاية . كان حجم الارض وبعدهـا عن الشمس ذا خطورة دقيقة، فان الحرارة المتولدة من تفكك العناصرالمشعة، بعدم قدرتها على التبدد في الفضاء، هي التي حملت الارض خلال تطور حراري، وبنفس الاثناء محررة المتطايرات من الجوف وخالقة النطاق المائي والنطاق الجوي. وينفرد كوكبنا الارض هذا ، بين جميع الكواكب والنيازك والاقمار ، بكونه الكوكب الوحيد الذي يملك الماء بغزارة.

أما الزهرة، وهي الكوكب الاكثر شبها بالارض من حيث الحجم والمساحة، فانها احتبست في ظاهرة مستنبت اخضر فالتة واضاعت ماءها وكل فرص نشوء حياة افروديتية من جراء اشتداد حرارة سطحها بنسبة عالية . لكن المريخ، مع شواهد على تاريخ بركاني سابق، فيبدو أنه في عصر جليدي، والماء الذي كان مرة يجري على سطحه لا يزال باقيا محتبسا في قبعات قطبية جليدية . وما وراء المريخ والنيـازك تدور الكـواكب العمـلاقة ، المشتري، وزحل، واورانوس ، ونبتون . رغم ان هذه الكواكب الخارجية الاربعة اكبر بكثير، فانها تختلف عن الكواكب الارضية او الترابية (terrestreal) بشكل بارز في التركيبة الكيميائية، فهي تتألف تقريبا كليا من الغازات. يتألف المشتري من ثمانين بالمائة (٨٠٪) من الهيدروجين[١٢]، وزحل من ستين بالمائة (٦٠٪) ، مع تكون البقية تقريبا بالتأكيد من الهليوم، ورغـم ان اورانوس ونبتون يتضمنان مقادير من الكربـون ، والنيتروجين، والاوكسجين، فانهما ايضا يتألفان من الغازات المتجمدة والسائلة.

من الصعب تصور نشوء منظومات بيولوجية في غياب الماء• مع ذلك، ربما توجد انحاء في المنظومة الشمسية تتضمن بيئة مائية أو ندية قليلة الشبه بالارض ولكنها ربما اعالت مراحل بدائية من الحياة • يتألف جو المشتري من الميثان، والامونيا، والهيدروجين، وهي الغازات البدائية التي بوسعهـا أن تفضي الى تكون مواد ما قبل حياتية • الا أن هذا الجو ليس متوحد الانتشار وانما متراكبا في طبقات من التدرج الحراري• توحي الاحتسـابات التي أجراها غاليت[١٣] (Gallet) الى انه ينبغي أن تتواجد منطقـة من عواصف امطار الامونيا تحت سحب بلورات الامونيا المنجمدة ، وتوجد طبقة مـن الامونيا الغازية تحت نطاق تقطرات الامونيا • وتوجد طبقات أو تشكيلات جليدية بمسافة بضعة كيلومترات الى الاسفل من سحب الامونيا ، يليها ماء سائل وبخار الماء• ويقول كارل ساغان[١٤] (Carl Sagan) انه يمكن للمركبات العضوية المشتقة من الامونيا والميثان أن تتفاعل في هذه المنطقة لتفضي عن نشوء الجزيئات الاكبر الضرورية للحياة•

ولاختبار هـذه الفرضيـة قـام فريتز وولر (Fritz Woeller) وسيريل بونامپروما[١٥] ((Cyril Ponnamparuma) في مركز أيميز للبحوث باجـراء التجارب حول التفاعلات في أجواء زحل مفتعلة بطريقة التفريغ الكهربائي• وبالفعل، تضمن الكسر المتطاير من التجربة طلائع العديد من المركبات البيولوجية• لكن بالاضافة الى المتطايرات انتج هذا التفاعل ايضا كسرا لا متطاير يتألف من بوليمرات برتقالية الى حمراء• وحدس وولر بونامبرونا ربما ان هـذه المادة البوليمرية هي المسؤولة عن لون البقعة الحمراء الكبرى في المشتري•

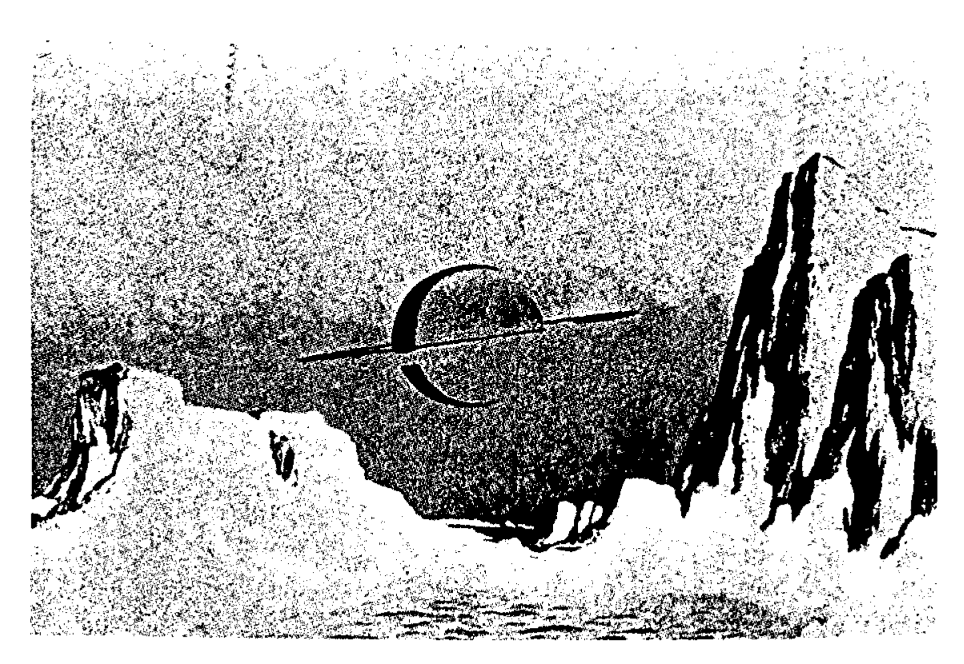
ان أكثرية العوالم الكبرى في منظومتنا الشمسية ليست كواكب، وانمـا اقمارا • يوجد ثلاثون قمرا تدور حول المشترى، وزحل، واورانوس، ونبتون،

بعضها كبير جداء كما ان رحلات المركبات ڤوياجر قد أدت الى اكتشاف اقمـار عديدة غيرها، ثلاثة من اقمار غاليليو الاربعة التي تدور حول المشتري، وهي اوربا، وغانيميد، وكاليستو (Europa, Ganymede, Calisto) تضاهي في الحجم كوكب عطارد (الكوكب الاقرب الى الشمس) ، وكذلك هما قمر زحل التيتان (Titan) وقمر نبتون ترايتون (Triton) ، ليست هذه كتلا ضخمة من الحطام كفوبوس وديموس (Phobos, Deimos) اللذين يدوران حول المريخ، وانما هي أجسام ضخمة كبرى بحجم قمرنا واكبر، كل منها عالم مختلف في نوعه، وبعضها يملك اجواء رقيقة ، وبعضها مغطى بالجليد ، توجد في تلك الاكارع النائية من منظومتنا الشمسية اقمار كلية بكثافة الجليد واقطار بطول اميال عديدة، تدور حول الكواكب ككرات ثلجية ضخمة في الفضاء.

تملك الاقمار الاكبر كثافات منخفضة دلالة على مؤتلفات (composites) من مواد صخرية جليدية ، ويحدس أن الحرارة من التفسخ الاشعاعي في جوف هذه الاجسام الكبرى أدت الى الذوبان وتسببت في استقرار السيليكات في اللب بمثابة اطيان مرصوصة مدمكة وشكلت قشرة رقيقة من الجليد تعوم على جبة سميكة من الامونيا والماء، يبدو ان بعض الاسطح تتألف كليا من الجليد بينما ربما يتألف غيرها من خلائط من هيـدرات جليـدية (ice hydrates) من الامونيا ، والميثان، ومواد مختلفة ، تمثل هذه الاقمار طائفة جديدة كلية من العوالم ذوات تركيبات وبنى مختلفة، وتعد بطـائفة جـديدة كلية من الظواهر.

يبدو تيتان، وهو أكبر اقمار زحل، ان له جوا كثيفا نسبيا ، اكثف بعدة اضعاف من جو المريخ، مع سحب حمراء تحجب عادة سطح القمر ، وقـد اكتشف فيه الميثان ، وربما ان الامونيا موجودة ايضا، وعلى ما يبدو يوجـد

فيه قدر كبير من الهيدروجين. ان أثر الهيدروجين هو انه يخلــق ظــاهرة المستنبت الاخضر التي ترفع درجة الحرارة تقريبا الى مستواها الارضي. فاذا ثبت في النهاية ان المريخ عديم الحياة، فان المكان الآخر ضمن أسرتنــا من الكواكب الذي ربما قد تفتق عن الحياة يقع على بعد الف مليون ميل من الارض في قمر زحل المسمى تيتان.



الشكل ٤/٢٦ ـ زحل، مرئيا من اكبر اقماره ، تيتان ، الذي يبعد عنه سبعمائة وستين الف (٧٦٠٠٠٠) ميل، كما تخيله الفنان تشيزلي بونيستيل.

نملك أفكارا عميقة الغور عما هي الحياة وما ينبغي أن تكون، وكل ذلك من مثالنا الذاتي الوحيد . وفيما نجوب ارجاء عوالم أخرى ربما اننا نعرض انفسنا لعديد من المفاجآت . لقد نشأت الحياة على الارض واتخذت طبيعتها

الخاصة لأنها كانت ممكنة من المواد ما قبل الحياتية التي توفر لها الزمن الكافي لتنتظم في منظومة بيولوجية • وبتوفر الزمن الكافي غدا محتما ما كان قبلا ممكنا• والزمن هو المعلم الحدي الذي اتاح للحياة الحصـــول ، فهو اشبه بكومبيوتر يمسح جميع الخلائط والتركيبات الممكنة حتى يجد حلاً•

مع ذلك، مع مواد أخرى وبيئات كيميائية أخرى، تظل امكانية نشوء منظومات بيولوجية مختلفة جذريا قائمة • ربمـا ان الامونيا السائلة أكثر شيوعا في منظومتنا الشمسية وفي جميع ارجاء الكون أكثر من الماء السائل• فاذا تم تحري جميع امكانات حصـــول الحيـــاة في الكون، لربما سيكون حصولها في الماء سائداً•

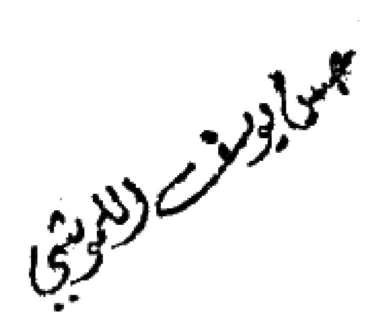
بينما يكون الماء سائلا بين درجتي الحرارة صفر الى مائة (٠ــ١٠٠°) مئوية ، تكون الامونيا سائلة بين درجتي الحرارة ناقصا ثماني وسبعين الى ناقص ثلاث وثلاثين (ــ٧٨° الى ــ٣٣°) مئوية في ضغط جوي قدره جو واحد• يملك الماء توترا سطحيا عاليا يجعله مثاليا لتكون الخلايا ذوات فواصل بينية دهونــماء • لكن الامونيا اقل دبقا أو لزوجة بكثير ، والمواد القطبية أكثر ذوبانا في الماء مما في الامونيا ، وعلى سبيل المثـــال ان الكلوريـــد ، والكبريتات ، والهيدروكسيد ، والاوكسيد ، كلها غير قـــابلة للذوبان في الامونيا•

لكن لما كان مثالنا الفريد المعلوم من الحياة قد نشأ كمنظومة بيولوجيـــة متكيفة لبيئة مائية ، فانه بطبيعة الحال تبدو خواص الماء لنا مثالية الى أقصى الحدود• لكن شكلا من السمك يسبح في بحيرة من الامونيا السائلة بلاشك سيجد عالمنا حارا لا يطاق والخواص الكيميائية للماء نزيعة وكريهة على حد سواء•

نشأ نوعنا الحياتي من المركبات ما قبل الحياتية التي تكونت من الغازات

المبتثة بفعل النشاط البركاني. فاذا تعرضت عوالم أخرى ذات تركيبة مختلفة لفعل البراكين ايضا فيمكن ان يختلف جوها الى حد كبير عن جـو الارض البدائية . انما هل تكون آنذاك قد تمخضت عن منظومة بيولوجية مختلفة ؟ لربما ان الجواب هو كلا. ان تجربة ميلر لا تعتمد على التركيبة الكيميائية للغازات بقدر ما تعتمد على العناصر الموجودة . ان جوا منقوصا يتضمن الكاربون ، والهيدروجين ، والنيتروجين، والاوكسجين، بصرف النظر عـن الشكل الكيميائي، سينتج، عند تعريضه لطاقة عالية ، نفس لبنات بناء الحياة التي تكونت على الارض البدائية.

ربما تتواجد الحياة في جميع ارجاء الكون في اشكال عديدة مختلفة وفي بيئات متطرفة، الا أنه يبدو كثير الاحتمـال أن يكون اسـاس الحياة هو نفسه في كل مكان. وهو من هذه الوجهة مزية مفذاذ . ان الحياة هي مجرد شيء يحصل . انها كالتفاعلات الحراررونووية في نشأة وتطور النجوم. ان الحياة همزة الوصل بين المادة والطاقة تحصل تلقائيا عندما تقع الاحوال ضمن حدود ضيقة ، وتتطور في مراحل . ربما توجد تنويعات عديدة مـن المادة والطاقة ، لكن كيمياءها وفيزياءها في الجوهر يتخـذان نفس النمط، وهذا النمط كوني جامع.



الفصل السابع والعشرون

المركبات العضوية في الكون

قبـل مـائة وخمسين عامـا بهر فريدريش فوهلر (Friedrich Wöhler) الاسرة العلمية باتتاج اليوريا من سيانات الامونيوم• وفي تجربة بسيطة اثبت بالبرهان على عدم وجود أي حاجز فاصل لا يقحم بين المـواد البيولوجيـة والمركبات اللاعضوية • وبالنتيجة كان كل من فوهلر وميلر (Stanley Miller) قد أورد الادلة الايضاحية الثبوتية على صحة نفس المبدأ، على وجود صلات تبادلية قابلة للتحول بين الجزيئات البسيطـة للاحياء البيولوجية والطبيعـة الكيميائية للتركيبة الارضية الجيولوجية • انه لمن غريب الصدف في الواقع أن يكون فوهلر قد درس ايضا ظاهرة قائمة في يومه بقيت بلا حل الى أن جددت التحريات فيها في نفس العام الذي قام ميلر فيه باجراء تجربته•

في عام ١٩٥٣ فيما كان ميلر عاكفا على اجراء تجربته بالتفريغ الكهربائي في جامعة شيكاغو نهض خبير جيولـوجي في لندن يستفسر مـن المتحف البريطاني عن امكانية السماح له بتحليل عينة من مجموعة النيازك المختزنة فيه• لقد كان معلوما منذ ايام برزيليوس وفوهلر ان بعض النيازك تتضمن مواد عضوية • لكن لما كانت المواد العضوية تتأتى تقريبا كليا من كائنات حية ، فان فكرة وجودها في النيازك اسفرت عن مدلولات مذهلة فوق العادة لم يقبلها العقل • كما انه من البداية كانت النيازك محطا لمشاكل التصديق•

في الاقل منذ فجر التاريخ والحكايات والاساطير الشعبية تتداول حول أحجار ، وحتى كتل من الحديد ، تتساقط احيانا على الارض • لكن عصر العقلانية خلق تشكيكا اعتبر معه هذا الامر مستحيلا • وعندما سقط حجر

في بلدة لوسيه بفرنسا في عام ١٧٦٨ شكلت لجنة برئاسة الكيميائي الفرنسي انطوان لافوازييه (Antoine Lavoisier) للتحقيق في الامر، وكان قرار اللجنة الختامي ان النيزك كان صخرة ارضية • ووقعت ثلاثة تساقطات أخرى في اوربا في السنوات التسعينية من القرن الثامن عشر (١٧٩٠) تم الاحتفاظ بعينات منها لكن الرأي العلمي بقي متصلبا في موقفه، ولم تعترف اكاديمية العلوم الملكية في باريس بامكانية سقوط احجار من السماء الى أن تمطرت آلاف منها على مدينة ليغل (l'Aigle) بفرنسا في ظاهرة عجيبة وقعت في ٢٦ نيسان ١٨٠٣ •

تصنف النيازك في ثلاث فئات رئيسة ، حدائد ، واحجار ، وحدائد حجرية، ويجري تقسيم كل من هذه في صنوف فرعية بحسب التركيبة، ويوجد اتساق ملحوظ بين هذه الصنوف من حيث محتوياتها من العناصر والفلزات، مع تشعب بارز بين الفئات• جميع المقومات الفلزية الرئيسة تأتي بنفس صفة الفلزات الارضية ، وغزارة تواجد العناصر في النيازك تتطابق بانتظام مع تلك المعلومة عن الارض• جميع المقومات الفلزية الرئيسة تقع على غرار الفلزات الارضية ونسب كثرة تو جد العناصر في هذه النيازك ايضا تتطابق بانتظام مع ما هو معلوم للارض•

بما ان النيازك تنزع الى التعرية بسرعة ولأنها صعبة التمييز عن الصخور العادية، فان ما هو موجود في المتاحف هو النيازك من فئة الحدائد بأسطحها المجزعة المعرقة• وقد وجد من تجميعة للنيازك تمت سريعا بعد سقطة منها أن نسبة (٩٤٪) منها كانت احجارا • ومن بين الاحجار ظهر ان ثمانين بالمائة (٨٠٪) كانت من الغضروفيت او الكوندريت (chondrites) متميزا بحبيبات مستديرة من الانستاتيت (enstatite) من فصيلة البيروكسين (pyroxene)

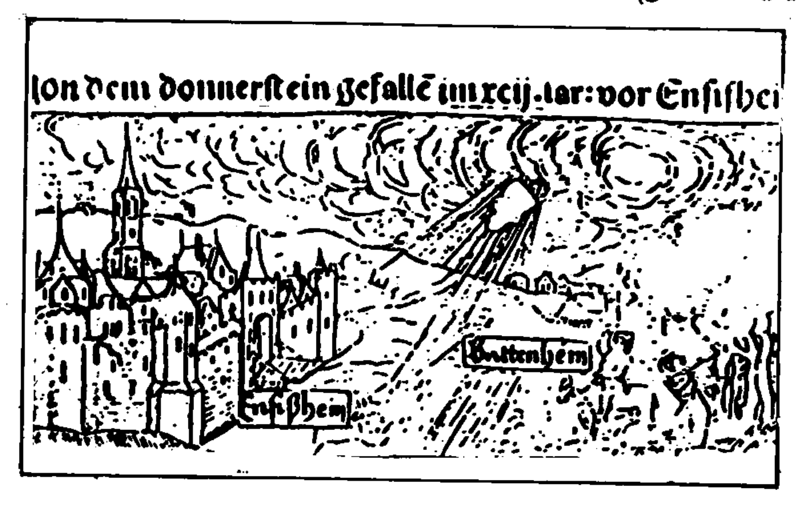
أو من الكريزوليت chrysolite، من فصيلة الزبرجد او الياقوت الاصفر ومنه الاوليفين olivine) مغترزة في كتلة من الحجر النيزكي. كما توجد بين النيازك الحجرية مجموعة صغيرة تسمى بالغضروفيت الكاربوني (carbonaceous chondrite) . ورغم ان على الاقل اثنين بالمائة (٢٪) من جميع النيازك تقع في هذه المجموعة، وهي هشة وتتهشم بسرعة بالتعرية ، فانها صعبة التمييز الا اذا وجدت بعد سقوطها بقليل . وقد اعطيت هذه النيازك اسمها هذا نظرا لاحتوائها نسبة خمسة بالمائة (٥٪) من الكاربون العضوي.

يوجد واحد وعشرون (٢١) كوندريت او غضروفيت كاربوني معروفا، وجميعها كان قد تم تجميعها بعد ملاحظة سقوطها بقليل . حاول كل من برزيليوس وفوهلر تحليل المادة العضوية في النيازك الكاربونية لكنه ظهران الكاربون بشكل بوليمر لا يقبل الذوبان ، وبدون تشخيص اية مركبات عضوية ، كلاهما خلص الى القول ان المادة العضوية لم تكن من اصل بيولوجي.

في الرابع عشر من ايار ١٨٦٤ مر نيزك ملتهب فوق جنوب فرنساوسقط قرب قرية اورغيل تناثرت احجاره على منطقة تبلغ مساحتها ميلين مربعين. تم تجميع عشرين (٢٠) شظية منها أغلبها بحجم جمع اليد عدا واحدة كانت بحجم رأس رجل، وبلغ مجموع وزنها (١١٫٥٢٣) كيلوغراما.

قام أس كلوز[٣] (S. Cloëz)بفحص نيزك اورغيل ثم قام من بعده بيير برتيلو[٤] (Pierre Berthelot) بعزل مواد عضوية منه قال انها مادة تشبه الفحم ولكنه لم يتمكن من التثبت منها بالتعيين، فقد كانت الاساليب الكيميائية قبل قرن مضى لا تعطي اكثر من معلومات محدودة عن طبيعة وكميات مثل هذه المواد العسيرة التعيين، وانتظر حل لغز المواد العضوية في النيازك حتى

تحقيق التطورات الاخيرة في الاساليب التحليلية للمواد الجيوكيميائية (أي كيمياء الارض)•



الشكل ١/٢٧ ـ سقوط نيزك انسيسهايم في الزاس في ١٤٩٢•

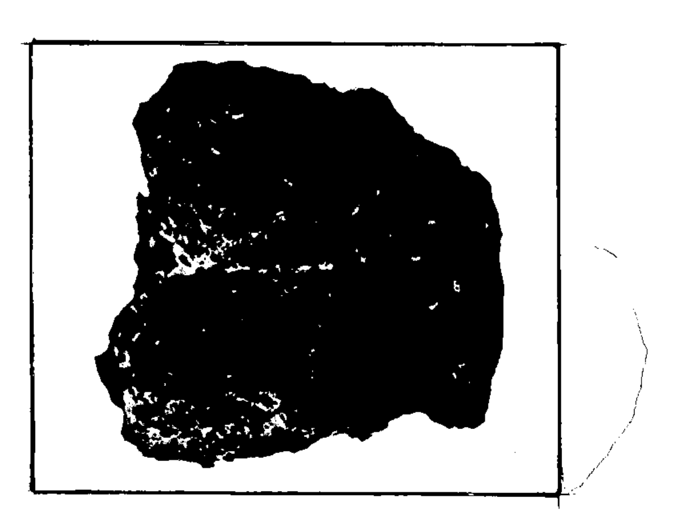
استمر الاهتمام في زفت (bitumen) النيازك طوال الفترة من ١٨٣٤ وحتى ١٨٨٥، لكن تبعتها فترة امدها ثمان وستون (٦٨) سنة يظهر ان الكيميائيين كفوا خلالها عن اعارة هذا الموضوع مزيدا من الاهتمام، وأخيرا، في عام ١٩٥٣، قرر جورج مولر[٥] (George Mueller) من جامعة لندن تناول الموضوع بالدراسة، قام المتحف البريطاني الذي ضم كل مجموعة العشرين نوعا من النيازك الكاربونية المعروفة آنذاك بتقديم عينة وزنها عشرين (٢٠) غراما من نيزك كولد بيكفيلد (Cold Bekkeveld) الذي كان قد سقط في اتحاد جنوب افريقيا في عام ١٨٣٨•

حاول مولر في أول الامر اذابة السيليكات بالحامض ليتمكن من عزل المادة العضوية • استغرقت العملية اسابيع عديدة وكانت أصعب الى حد كبير

من استخراج هذه المادة من حجر السجيل (shale)ووجد مولر ان واحدا بالمائة (١٪) من الماد ة العضوية الممكنة الاستخراج تألفت بشكل رئيس من الكربون ، والهيدروجين ، والنيتروجين، والاوكسجين ، وايضا الكبريت والكلوريد . كانت درجة حرارة تفسخها منخفضة ، وتعذر اكتشاف أي نشاط بصري في مستخرج بنزيني (benzene) منها، ملغيا بذلك احتمال كونها من أصل بيولوجي . لكن بما ان المادة كانت قابلة للذوبان في القلي (alkali) خلص مولر الى ان المادة متركبة من حوامض عضوية معقدة مع بعض مركبات الكلوريد العضوية، الا أنه لم يتمكن من تشخيص اية بنى كيميائية معينة.

أدلى مولر بالرأي ان لابد ان المادة العضوية كانت قد نشأت في جو متباين الاضاءة والحرارة ليتسنى تبلمر جزيئات معقدة ، ونظرا لتناهي صعوبة اذابة السيليكات ، أفاد مولر أنه لربما ان هذه المادة العضوية كانت قد تكثفت على جسيمات غبارية استقرت وتلززت على جسم فضائي صغير نسبيا. لم تتعرض هذه المادة العضوية في أي زمن أثناء أو بعد تكونها لدرجات حرارة تتجاوز (٢٠٠ــ٣٠٠°) مئوية ، على نقيض نيازك الحديد والحديد الحجري التي كانت قد تعرضت لدرجات حرارة تفوق الالف (١٠٠٠)° في زمن ما من تاريخها.

في عام ١٩٦٠ اقترح برايان ميسون[٦] (Brian Mason) من المتحف الامريكي للتاريخ الطبيعي بنيويورك ان المواد الاولية لجميع النيازك كانت سيليكات مموهة او مهيدرة (hydrated silicates) مغطاة بطبقة كاربونية متبلمرة ، وقام بارسال عينة من نيزك اورغيل الى الكيميائيين بمختبر شركة ايسو للبترول بنيوجرسي لغرض الحصول على معلومات اكثر دقة عن المواد العضوية في هذا النيزك.



الشكل خ٢/٢ ـ نيزك اورغيل

قــام بي ناجي (B. Nagy) ، ودبليو جي مايتشاين (W.G. Meischein) ودي جيه هينسي[٧] (D.J. Hennessy) بتحليل الجزء العضوي من نيزك اورغيل بالمطيافيــة الكتلية (Mass Spectroscopy) ، ووجــدوا حشــدا مــن الهيدروكاربونات (hydrocarbons) ، كانت اكبر هيدروكاربونة رباعيةالدورة (tetracyclic) بلغ وزنها الجزيئي (٤٢٨) ، لكن الاكثر اعجابا كان مسلسل من عياري البرافين (n-paraffin) امتــد حتى (C_{26}) وتضــاءل عنــد (C_{18}) عند مقارنة طيف قطارة (distillate) النيزك بالاطياف الكتلية للزبدة ورواسب حديثة العهد، ، رأوا تشابها كبيرا بينها • ومن هذا خلصوا الى القول ان المادة العضوية من النيزك كانت من مصدر حيوي•

بنفس تلك السنة قام ناجي وجورج كلاوس[٨] (George Claus) من المركز الطبي بنيويورك بفحص ستة نيازك كاربونية لتحديد تفاصيلها المجهرية • تم سحق النماذج في الماء أو الغليسيرين على شرائح زجاجية وجرت دراستهــا تحت المجهر• في نيزكين اثنين وجدا «عناصر منتظمة» جيدة الوضوح لم تكن

شكلياتها (morphology) مماثلة لأي عنصر معلوم ولكنها تضمنت بعض الشبه ببعض انواع الطحالب . ولما كانت نماذج من نيزك اورغيل الذي سقط في فرنسا المعتدلة الطقس ، ونيزك من ايفونا (Ivuna) الذي سقط بعد الاول بأربع وسبعين (٧٤) سنة في منطقة مدارية قاحلة من اواسط افريقيا تضمنت « عناصر منتظمة » متشابهة الشكلية ، أبدى كل من ناجي وجورج كلاوس ان احتمالية عزو الجسيمات الى التلوث الارضي لم تكن واردة . وبالنتيجة كان تفسيرهما لتلك البنى كأحافير مجهرية محتملة ارمية للنيازك ذاتها ، وعليه ، كبقايا حياة خارج الارضية.

غني عن القول ان هذا خلق ضجة وركز الاهتمام بالنيازك. ثم أبان ادوارد آندرز[٩] (Edward Anders) وهو كيميائي من معهد انريكو فرمي (Enrico Fermi) بجامعة شيكاغو انه يتم عادة تأشير عينات المتاحف بالاصباغ أو البطاقات المصمغة او الاقلام الشمعية ، وانه لما كانت تركيزات الهيدروكاربونات الموجودة تقع ما بين (١ر٠) و(٠ر١) ميكروغرام، فان احتمالية عائديتها الى تلوث ارضي كانت عالية . لكن موضع التحديس المبالغ فيه لم تكن النتائج ذاتها وانما الاستنتاج الذي عزا المادة العضوية الى حياة خارج ارضية.

لكن الجدل في الاقل وجه الاهتمام الى مسألة المادة العضوية في النيازك ووسع رقعة التحريات . قامت مختبرات أخرى بتحليل مستخرجات من الكوندريتات أو الغضروفيتات الكاربونية ووجدت ارجحية غالبة للهيدروكاربونات العطرية على الاليفاتية . ثم أعلن مايكل بريكز وجي ماميكونيان[١٠] (Michael Briggs, G. Mamikunian) انهما وجدا أن خمسين الى تسعين بالمائة (٥٠ــ٩٠٪) من المادة كانت بوليمرا عطريا . كما قام مارتن

ستوديو (Martin Studier) مـن مختبر آرغون الوطني وريوئيجي هـاياتسو ((Ryoichi Hayatsu) واندرز[١١] (Anders) بجامعة شيكاغو بتحليل شظـايا من نيازك اورغيل، وماراي، وكولد بوكفيلد وتمكنوا من تشخيص البنزين، والتولوين ، والنفثالين ، والانثراسين (anthracine)، والسترات حـامض الكبريتونيك او السلفونيك (sulfonic acid) ، والهيدروكاربونات المكلورنة (chlorinated hydrocarbons) في الكسر العضوي. كما وجدوا ايضا الغازات H_2، و CO، و CO_2، و NO و N_2، و SO_2، و CS_2، والميثان والايثان، ومتماثلات أعلى . ألا أن هؤلاء الكيميائيين لم يجدوا ما يبرر الى عزو المادة العضوية الى أصل بيولوجي.

طرح اندرز[١٢] ان النيازك كانت قد جاءت من نجيمات صغيرة لا يتجاوز قطر الواحد منها بضعة كيلومترات في الطول كانت قد تحطمت ، انما لكي يكون تركيز المادة العضوية قد تكون من تفاعل من صنف تفاعل تجربة ميلر يحتم كون اجواء النجيمات كثيفة الى حد المستحيل[١٣]. انما بالأحرى، قـد تم التدليل على ان توزيع الهيدروكاربونات العطرية والاليفاتية يقع في تطابق وثيق مع احتسابات دايهوف وزملائها[١٤] للتوازن الديناحراري للمركبـات المتولدة في خليط من الكربون ، والهيدروجين، والاوكسجين ، والنيتروجين بدرجة حرارة خمسمائـة كلفن (Kelvin, K= ٥٠٠ك). ومعنى ذلك، ان هذه المادة العضوية كانت قد تكونت وتواجدت في السديم الشمسي حتى ما قبل مجيء الارض الى الوجود.

كشفت دراسة النيازك للعلماء، ان المكونات لتوليد مواد عضوية ليست شواذا في الكون . كان معلوما منذ عام ١٩٤٠ ان التحليل المطيافي للضوء من المذنبات اشار الى جذور CH و CN (CH, CN radicals) ، ومع تطور

الفلك الاشعاعي (radio astronomy) وجـه الفلكيون هوائياتهم نحو المجرة وما وراءها واكتشفوا سحبا هائلة من جزيئات معقدة نسبيا في الكون • وفي عام ١٩٦٨، اكتشف أي سي تشيونك وآخرون[١٥] (A.C. Cheung) ابتثاثات امواج مجهرية (microwave emissions) من سحب الامونيا على مقربة مـن مركز المجرة ، في عملية مسح قام بها في مختبر الفلك الاشعاعي في بركلي مستخدما مكشافا اشعاعيا طول قطره عشرين قدما (٢٠)• وفي السنة التالية اكتشفـت مجموعـة بركلي[١٦]، وايضا لويس سنايدر (Lewis Snyder) وديفيد بوهل[١٧] (David Buhl) بواسطة مكشاف اشعاعي (radio telescope) طول قطره مائة واربعين (١٤٠) قدما يقع في غرين بنك بفرجينيا الغربيـة ، اكتشفت الماء• كما قد تم الاعلان عن اكتشاف اول اوكسيد الكربون[١٨]، وسيانيد الهيدروجين[١٩] والفورمالديهايد[٢٠]، والسيـانوائيلين[٢١]، وانواع جزيئية[٢٢] أخرى منذ ذلك الحين• ان كثافات هذه الجزيئات في الفضـاء ضئيلة ، مثل كثافة الهيدروجين ، ولكن الكميات المطلقة تقع حرفيا في نطاق الارقام الفلكية•

لم يكن صعبا قبـول ان الهيـدروكاربونات العطريـة والاليفـاتية (aromatric and aliphatic) المتملصة ، أو العسيرة التتبع، من النيازك كانت قـد نشأت من توازن ديناحراري للغازات في السديم الشمسي (solar nebula) لكن كون «العناصر المنتظمة» كما قال ناجي وكلاوس ، بقايا حياة خـارج أرضية كان نوعا اكثر صعوبة • قامت الجماعـة في جـامعة شيكاغو[٢٣] بفحص نيازك اورغيل وايفونا ولكنها أخفقت في اكتشـاف ايـة « عناصر منتظمة » رغم انها وجدت حبيبات فلزية كبريتية شديـدة الشبه • لكن مايكل بريكز وجي بـاري كيتو[٢٤] (G. Barrie Kitto) من جـامعة فكتوريـا بنيوزيلندة اعلنا عن اكتشاف بنى مجهرية عضوية معقدة في نيزك موكوئيا

(Mokoia)، الا انهما اعتبرا احتمال كون الجسيمات حيويةالنشأة غير وارد، عقب ناجي وكلاوس وهينسي(٢٥) في مقالة أخرى حول العناصـر المنتظمـة لكن تم الرد عليهم في تحقيـق تفصيلي قـام بـه فيج وأندرز (Fitch) في عام ١٩٦٣، ويبدو ان الاجماع الختامي قبل بوجود اصناف عديدة من البنى المجهرية تتطابق كتلوثات ارضية او فلزات مبتناة او مواد عضوية مبتناة ولكنها لم تشر الى كونها من حياة خارج ارضية ابداً.

الجدول ٢٧/١ ـ الجزيئات المكتشفة في الوسط ما بين النجوم

Table 27.1. Molecules found in the interstellar medium.

Year	Molecule	Symbol	Wavelength	Telescope	Initial discovery	
1937		CH	4300A	Mt Wilson 100 inch	Dunham	
1940	Cyanogen	CN	3875 A	Mt Wilson 100 inch	Adams	Mt Wilson
1941		CH	3745-4233 A	Mt Wilson 100 inch	Adams	
1963	Hydroxyl	OH	18, 6.3, 5.0, and 2.2 cm	Lincoln Lab 84 foot	Berkeley	
1968	Ammonia	NH_3	1.3 cm	Hat Creek 20 foot	University of	
1968	Water	H_2O	1.4 cm	Hat Creek 20 foot	Virginia, NRAO,	
1969	Formalde-hyde	H_2CO	6.2, 2.1 and 1cm; 2.1 and 2.0 mm	NRAQ 140 foot NRAO 36 foot	University of Maryland and University of Chicago	
1970	Carbon mo-noxide	CO	2.6 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs	
1970	Cyanogen	CN	2.6 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs	
1970	Hydrogen	H_2	1100 A	UV rocket camera	NRL	

1970 Hydrogen cyanide	HC N	3.4 mm	NRAO 36 foot	University of Virginia and NRAO
1970 X-ogen	?	3.4 mm	NRAO 36 foot	NRAO and University of Virginia
1970 Cyano-acety-lene	HC_3N	3.3 cm	NRAO 140 foot	NRAO
1970 Methyl al-cohol	CH_3OH	36 and 1 cm; 3 mm	NRAO 140 foot	Harvard University
1970 Formic acid	CHOOH	18 cm	NRAO 140 foot	University of Maryland and Harvard University
1971 Carbon mo-nosuphide	CS	2.0 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs and Columbia University
1971 Formamide	NH_2CHO	6.5 cm	NRAO 140 foot	University of Illinois
1971 Silicon oxide	SiO	2.3 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs and Columbia University
1971 Carbonyl sulphide	OCS	2.7 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs and Columbia University
1971 Acetonitrile	CH_3CN	2.7 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs and Columbia University
971 Isocyanic acid	HNCO	3.4 mm; 1.4 cm	NRAO 36 foot	University of Virginia and NRAO
1971 Hydrogen iso-cyanide	HNC	3.3 mm	NRAO 36 foot	University of Virginia and NRAO
1971 Methyl-ace-tylene	CH_3C_2H		NRAO 36 foot	University of Virginia NRAO
971 Acetaldehyde	CH_3CHO	28 cm	NRAO	Harvard University
971 Thioformal-dehyde	H_2CS	9.5 cm	Parkes 210 foot	CSIRO, Australia

Source: David Buhl, Chemical constituents of interstellar clouds, Nature 234, 332-334 (1971). 1971 Macmillan Journals Limited.

المصدر : ديفيد بوهل : المقومات الكيميائية في السحب ما بين الانجم، مجلة : الطبيعة، عدد ٢٣٤ ص ٣٣٢-٣٣٤ (١٩٧١)٠

الا انه لم يلبث ان اختتم هذا الجدال حتى اندلع جدال آخر حول صحة مركبات عضوية أخرى مكتشفة في الكوندريتات الكاربونية • وكانت هذه حوامض امينية٠

في عام ١٩٦٢ اكتشف اي تي ديجنز (E.T. Degens) وأم باجــور[٢٧] (M. Bajor) من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا وجود حــوامض امينيــة وسكاكر في مستخرج من نيزكي فــاراي وبرودرهــايم يتألف من ثمــانين بالمائة (٨٠٪) من الايثانول (ethanol) • وفي السنة التالية ظهرت مقــالة تفصيلية بقلم آي آر كابلان (I.R. Kaplan) ، وديجنز، وجيه ايج رويتر[٢٨] (J.H. Reuter) تحمل نتائج ثمانية من الكوندريتات الكاربونية وخمسة نيازك لا كاربونية • وجدت الحوامض الامينية والسكاكر في جميعها • كانــت السكاكر من صنف المانوز والغلوكــوز (Maunose, glucose) وبتــركيزات (٥ــ٢٦) ميكروغراما بالغرام، وسبعة عشر (١٧) حامضا امينيا بمقادير (٣٠ــ ٥٠٠) ميكروغرام بالغرام في النيازك الكاربونيــة ، وبتركيــزات (٨ــ٥٠) ميكروغراما بالغرام في النيازك اللاكاربونية • لكن لما كانت المادة العضوية ينقصها النشاط البصري، وايضا الصبغات ، والحوامض الدهنية وعلى ما يظهر حوامض النوويك كذلك، ارتأى اصحاب المقــالة ان السكاكر والحوامض الامينية كانت من اصل كيميائي وليس بيولوجي٠

كانت كميات الحوامض الامينيــة في حدود (10^{-6} الى 10^{-8}) مولة

بالغرام. لكن البيوكيميائيين الذين يقومون بتسجيل صبغوغرامات او كروماتوغرامات ورقية (paper chromatograms) لاستبيان الحوامض الامينية برش النهدرين (ninhydrin) ان هذا الاسلوب حساس بحيث يعطي نتائج اختبار موجبة للحوامض الامينية من طبعات الاصابع اذا لم يتخذ الحذر اللازم • قام بول هاملتون[٢٩] (Paul Hamilton) من معهد دوبون في ويلمنجتون بديلاوير باجراء دراسة اسلوبية تفصيلية لمقادير الحوامض الامينية التي يمكن أن تنشأ من المناولة (handling) • جرى كبس طبعة مفردة من ابهام جاف من أيد مغسولة قبل ساعتين على باطن جدار قدح جاف، ثم غسلت الطبعة الى باطن القدح، وبعد تبخير الماء اخضعت الفضلة الجافة لعملية الكروماتوغراف على عمود تبادل الايونات بالطريقة المعتادة • فكانت النتيجة اكتشاف سبعة عشر حامضا امينيا بحدود (٥×١٠^{-٩} الى ٢×١٠^{-٦}) مولة • كان السيرين بأكبر مقدار وتبعه الغلايسين • قام خوان اورو وايج بي سكيوز[٣٠] ايضا بتحليل الحوامض الامينية من طبعات الاصابع وقارنا النتائج بتلك المأخوذة من النيازك. كانت المقادير بنفس الحدود، كما كانت نسب ازواج الحوامض الامينية سيرين ، ثريونين ، وغلايكول آلانين، وسيرين آلانين متطابقة الى حد كبير.

لما كانت الاحجار قد تبادلتها الايدي واختزنت في المتاحف ، فقد نشأت شكوك خطيرة حول صحة تواجد الحوامض الامينية في النيازك. مع ذلك، لم يختتم الجدل هناك. كان الباحثون الذين اعلنوا عن الاكتشافات على علم بالمشاق الداخلة في تحليلات مواد منخفضة المستويات وكانوا على ثقة من أساليبهم • استلزم الامر الآن شواهد جديدة لا تتقبل الارتياب من تعرضها للتلوث الارضي لحسم المسألة اما ايجابا او سلبا.

وجاءت الفرصة من السماء في الساعة الحادية عشرة صباحا في ٢٨ ايلول

١٩٦٩ حين سقط كوندريت كاربوني جـديد قرب مرجيسون بفكتـوريا اوستراليا • تكسر الساقط الاصلي اثناء الهبوط ونثر شظايا عديدة فيمنطقة مساحتها خمسة اميال مربعة • تم جمع العينات بعد السقوط بقليل وجرى تحليلها مشتركا من قبل علماء ناسـا (NASA) في مركـز ايميز للبحـوث بكاليفونيا ، ومن قبل ايزاك كابلان في بركلي، ومـن قبـل كارلتون مور (Carlton Moore) من جامعة اريزونا الحكومية[٣١]•

تضمن نيزك مرجيسون اثنين بالمائة (٢٪) بالوزنمن الكاربونو(١٦ر٠٪) من النيتروجين• وعندما جرت حلمأة عينة بوزن عشرة غرامـات بحـامض الهيدروكلوريك وتحليلها بعملية الكروماتوغرافيا ، كانت النتائج حصول ذري من الغلايسين ، والالانين والغالين والبرولين وحامض الغلوتاميك • اضـافة الى هذه الحوامض الامينية العادية في البروتينات ، وجد ثنائي مثيل الانين (2-methylalanine) وساركوسين (sarcosine) غير الموجـودين اعتياديا في المنظومات البيولوجية • كانت المادة في هذا التحليل كافية لقياس الايسومرات البصرية ، وتبين ان كلا الشكلين دي وايل (D and L) كانا موجودين تقريبا بنسب متسلوية • ان المتعضيات الارضية تستخدم تقريبا بلا استثناء الايسومر (L) • اثبتت النتائج بوضوح أن الحوامض الامينية في النيازك لم تكن ناشئة عن التلوث وانها بكل وضوح من اصل لا حياتي• تبع هذا تقرير[٣٢] ثان يشخص احد عشر حامضا امينيـا (١١) في هـذا النيزك • تضمن نيزك مرجيسون ما مجموعه (٢×١٠⁻٧) مولة من الحوامض الامينية بالغرام ، وهو مقدار أعلى مما يقع في العديد من الرمال الصحراوية•

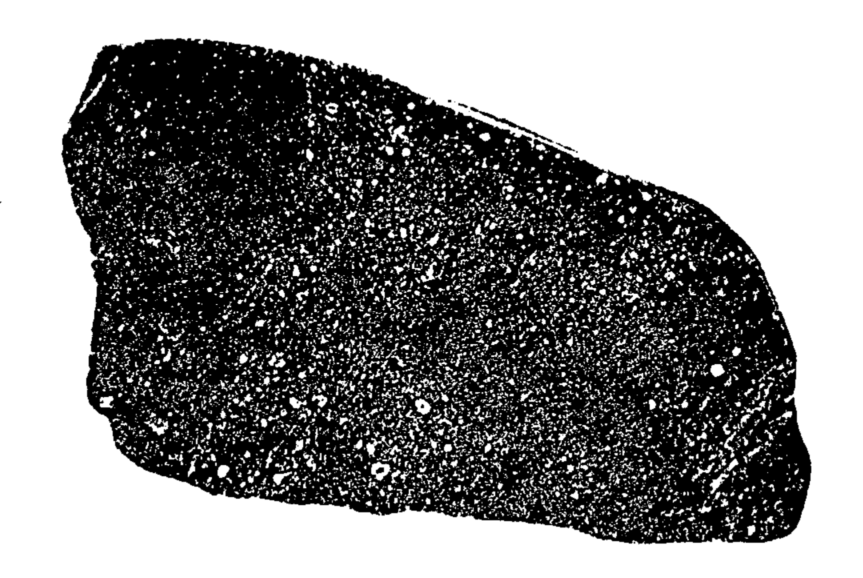
ان انعدام النشاط البصري في الحوامض الامينية القديمة للغاية لا يلغي احتمال كونها من ذوات شكل ايسومري واحد فقط في زمن ما• ليسـت الايسومرية التجسمية للحوامض الامينية مستقرة مطلقا ، وتترسم ايسومرات

الحوامض الامينية في النهاية بوتيرة تعتمد على درجــة الحرارة[٣٣]، وهي خاصية تم تطويرها كوسيلة لتأريخ العينات العتيقة • في درجة حرارة صفر مئوية (٥°) تملك ايسومرات الايسولوسين والالانين انصاف اعمار فيالتحول الى خليط متناصف (أي ٥٠ــ٥٠) قدرها (٤ر٤) و (١ر١) مليون سنة على التوالي، بينما في درجة حرارة (٢٥°) مئوية يبلغ نصفا عمريهما (٣٥٠٠٠)سنة و(١١٠٠٠) سنة•

النيازك هي اقدم الصخور المعروفة • وقد تم تأريخها بعمر اربعة آلاف وستمائة (٤٦٠٠) مليون سنة وتعتبر قديمة قدم المنظومة الشمسية نفسها• وهذا يترك مسألة الحوامض الامينية في النيازك للمسألة • هل تولدت في تفاعل من صنف تجربة ميلر في السديم الشمسي أم هل انها قد نشأت بكيفية ما أخرى؟ لا يستبعد انها تأتت من مصدر آخر غير منظور • عند تحليــل الصخور المستجلبة من القمر في مركبات ابولو لاكتشاف تواجد الحوامض الامينية فيها كانت النتائج الاولية ، لدهشة العديد من العلماء، سالبة • لكن هذه التحليلات كانت قد أجريت على مستخرجات مائية بسيطة من العينات• وعندما ظهر انه لا توجد اية حوامض امينية في المستخرجات ، جرى اخضاع المواد المستخرجة للحلمأة بالطريقة المعتادة للبروتينات ، ثم تم تحليلها • وفي هذا التحليل تم اكتشاف ستة حوامضامينية هي الغلايسين، والالانين،وحامض الاسبرتيك، وحامض الغلوتاميك ، والسيرين ، والثريونين • كانت مقاديرها ضئيلة (٧ الى ٤٥) نانوغراما بالغرام الواحد[٣٤]•

لماذا اذن ظهرت الحوامض الامينية بعد الحلمأة فقط• على ما يظهر ان الحوامض الامينية لا تتواجد على القمر في غياب الماء، ولكن طلائعها موجودة، وعملية الحلمأة حولت هذه الطلائع الى حوامض امينية طليقة • لا يعلم شيء عن الطبيعة الكيميائية لهذه الطلائع ، وانما يحدس ربمــا انها سيانيــدات

(cyanides) ، أي سيانيدات كانت قد نتجت عن القصف المستديم على سطح من نوى الكاربون والنيتروجين المتأتية من الرياح الشمسية.



الشكل ٣/٢٧ ـ نيزك مرچيسون .

الفصل الثامن والعشرون

الارض ، أم الجبابرة

بدأت الحياة قبل زهاء اربعة آلاف مليون سنة في ما يبدو كان وسطا غريبا ونزيعا، ومع بداية الحياة ابتدأت مسيرة التطور البيولوجي . ظهرت، على امتداد رحبة الزمن الفسيحة الى ما يفوق المعقول ، اجيال عديدة لا تحصى ، تكونت واندثرت في وجود لا عقلي، مغيِّرة الطبيعة الكيميائية للارض وهي تغير نفسها باطراد على سلم التطور ، وارتقت، عتبة معينة، من الميكروبة الى الانسان . لكن النتيجة الأكثر عجبا في السيرورة كلها هي درايتنا بها.

فبالتالي ، ما نحن سوى مواد كيميائية التأمت معا في منظومة تناسخية ذاتية الادامة تطورت على مر الدهور واجتازت الى نور الوعي. ومضى الوعي حتى بلغ الادراك الذاتي وهي حالة يتسع لنا معها، كمنتوجات السيرورة ، ان نلتفت الى الماضي وتتبصر في اعماق الزمن لنرى وتتمثل أحوال بدايتنا ذاتها.

وليس وليد المصادفة أن يكون هذا شأننا . فقد خلق ادراك الذات البشري طموحا لمعرفة العالم وتغييره لاشباع رغباتنا . انها عملية الاغتذاء الارتجاعي، كالتحفيز الذاتي لدى الخلية البيولوجية المنبثقة التي وضعتها المنظومة منفردة عن الوسط المحيط بها . لقد فصم الادراك الذاتي اعتماد الانسان الكلي على صروف البيئة وجعل الجنس البشري مرحلة متميزة في ركب التطور.

بسبب قدرتنا على رؤية انفسنا في المحيط المادي، اعملنا في الارض مالم

يعمله أي نوع حي آخر. اننا نستطيع تأمل اشكال الحياة المختلفة ، الماضية والحاضرة ، ونرى منزلتها في الحبكة المتراصة لصرح الطبيعة . لكن الانسان التكنولوجي كسر القيود التي تربط الخلائق الأخرى في معتقل البيئوي، وبدلا من الانصياغ في بوتقة البيئة الحيوية وفق النظرية الداروينية للانتقاء الطبيعي، انجزنا الوسيلة لسبك الطبيعة وفق قالبنا . وكلما تقدم الانسان في التكنولوجيا يبدو أن وجوده يتخذ معنى يتجاوز النطاق الارضي الى الكوني، ذلك لأنه هو لوحده بين الاحياء قد تمكن من الانعتاق عن احضان الارض.

فقد منحتنا منجزاتنا التكنولوجية الوسيلة لتوسيع بقعتنا البيئيةالحيوية الى ما وراء كوكب الارض في أعماق المجموعة الشمسية . يقع المريخ على بعد ستين مليون ميل، والمسافة الى اقمار المشتري ستمائة مليون ميل ، والى زحل الف مليون ميل. ويبقى اورانوس ونبتون وبلوتو . لكن هناك تقع نهاية منظومتنا الشمسية ، ووراءها يمتد فضاء واسع مترام يستغرق ضوء أقرب النجوم سنينا عديدة لقطعه . لكن الميكروبة التي كابدت وصارعت عبر ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة من التطور لتصبح الانسان ، تمد انظارها الى المائة الف مليون نجم في المجرة لتكتشف انها ما ان تنعتق من قطيرة كونية حتى تجد نفسها في أخرى.

مع ذلك، نعلم ان الميكروبة تعيش بانعزال اعمى في كون مجهري ليس سوى جزءٍ من بعد هائل شاسع ، ونعلم ان الحيوانات ذوات الطبيعة الابسط من الانسان تعيش على هامش حقيقة مادية ذات عمق وتعقيد ابعد من متناول قدرتها الادراكية بأشواط عديدة . فما هو اذن موقع الانسان؟ وهل نحن ايضا نقع على حافة حقيقة تمتد في مهامه وجود اعماق نهتجسه ولكننا لا نفهمه، أو هل الانسان في تطور يشكل بذاته صفة للعالم المادي الذي يمتد بلا حدود؟

ان التيار الذي حمل في ركبه الوجود كله بلا توان ولا تهاود لا يزال ينساب، ولن ينتهي معناه فما نحن سوى مشـاركين على مسرح تعـددي الأطوار متمركز في شق ضيق من الزمن والمكان فيما يتدفق شلال الأحداث التي بدأت منذ دهور دون توقف • نحن جزء من سيرورة بدأت في صمر مـا في الدهر الاركي • ومن تلك البداية المتواضعة جئنا نتسلق عتبة أثر عتبة على ما يبدو انه هرم مدرج• لكننا نبدو اننا قد بلغنا مشارف الذروة، وهي نقطة يتوقف عندها تيار التطور • لكننا نجد عند تحليـل منحى الحياة ان ليس الانسان هو الذي قد بلغ نقطة تقاطع حرجة في رحلة طويلة ، انما هو التطور البيولوجي•

لقد خلق التبدل الطفري التنويع، وجعل الانتقاء الطبيعي الصالح من المتعضيات للتوسع الى كل بقعة بيئية حيوية بصلة• لكن الحقل البيولوجي منثور بأنواع بقيت في مستويات من الوجـود الغابر • فقد تتبع التطور سلسلة من الخطوات الى التعاظم في الحجم والتعقيد ، بينما بقيت المستويات المختلفة مشغولة بأشكال من الحياة المتخلفة ، ولم تتطور سوى مقاطع من الاحياء لتصعد الشوط المدرج الى الانسان•

عليه ، أي سورة دفعت اسلال البروكاريوت الى هجر عالمها الميكروبي الذي ازدهرت فيه دهورا طويلة عديدة ، والمغامرة في بعد جديد كليا؟

لا يتحقق الحجم والتعقيد في التطور فقط بالآلية الانتقائية من الداروينية، تسري مبادىء النشوء الارتقائي الداروينية ضمن مستوى ما من النشوء التطوري• لكن التوسع الى ترتيبة هرمية من مراحل يتطلب تنظيم المزيد من المادة في تركيبات ضاربة الى الاتساق، وعليه فيبدو انه توجد ركيزة قاعدية لا تفتأ تدفع رتل النظم البيولوجية الى ارتفاعات عالية باطراد، وللوقوف على هذه القاعدة يتوجب علينا أن نكرر تفحص العتبات•

أن الخطوة أو الدرجة الاكبر في التطور هي واحدة من الخطوات الاقـل بروزا للناظر العابر. قبل أكثر من الف مليون سنــة ، في الزمن ما قبـل الكمبري حين كانت القارات عارية وقاحلة مجدبة ، حين كانت الحياة لا تزال منحصرة في المتعضيات المجهرية العائمة في المحيطات ظهرت اليوكاريوت ، أكبر وأكثر تعقيدا بكثير في البنية الباطنية من اسلافها البروكاريوت . كانت اليوكاريوت لا تزال ميكروبات أحادية الخلية ولكنها طورت مسلكا انزيميا اتاح لها ان تستخدم الاوكسجين الجزيئي لاكسدة الغلوكوز كليا الى ثاني اوكسيد الكربون والماء. ان ما حققته اليوكاريوت بالتنفس كان اطلاقا من الطاقة المتوفرة من الغلوكوز يبلغ ثماني عشرة مرة أعظم من الكمية التيكانت اسلافها تستطيع الحصول عليها.

عندما استنبطت اليوكاريوت التنفس ادخلت بذلك عصرا من تعـدد الخلوية دفع النباتات والحيوانات الى بعد جديد كلي، والخطوات الرئيسة في التطور منذئذ تعزى الى تحوير هذا النظام لتحقيق المزيد من الكفاءة التأيضية ، تطور السمك بجهاز دورة دموية اكثر كفاءة مستخدما الهيموغلوبين لاستخراج الاوكسجين من الماء وحمله الى جميع الخلايا في الجسم، وأمـا الزواحف فقد كانت هوائية التنفس التي استطاعت ان تستغل التركيز الاعلىمن الاوكسجين في الهواء، وظهرت الثدييات مع القدرة على التحكم بدرجـات الحرارة لابقاء دمائها دافئة وبذلك اكثر قدرة على تزويد الدماغ والعضـل بالاوكسجين . تشعب الانسان من الخلائق العليا بتوجيه طاقة التحفيز من خلال التسامي للتفكير الخلاق وهي الخطوة التي اجتـاز بها الفـاصل الى استدرار المخازين الهائلة من الطاقة الكامنة في الطبيعة الجمادية.

يوجد عامل واحد مفرد يمكن تشخيصه مع كل خطوة كبرى، ألا وهـو الطاقة.

ســواء لنمــو منظــومة بيولوجيــة أم لتشييد ناطحــة سحــاب ، يتطلب ترتيب المادة في تركيبة أكثر انتظـاما ضد التيــار الشــامل سواء أكان ذلك لغرض نمو منظومة بيولوجية أم لتشييد ناطحة سحاب ، يتطلب تركيزا في الطاقة. وكلما اتسعت رقعة التنظيم المادي كلما تدعو الحاجة الى دفق أكبر من الطاقة من خزان ما لدفع عملية التشييد ، وكل تقدم رئيس في العمود التطوري ارتفق باستنباط وسيلة لاستمداد طاقة لم تكن متوفرة للنظام السابق.

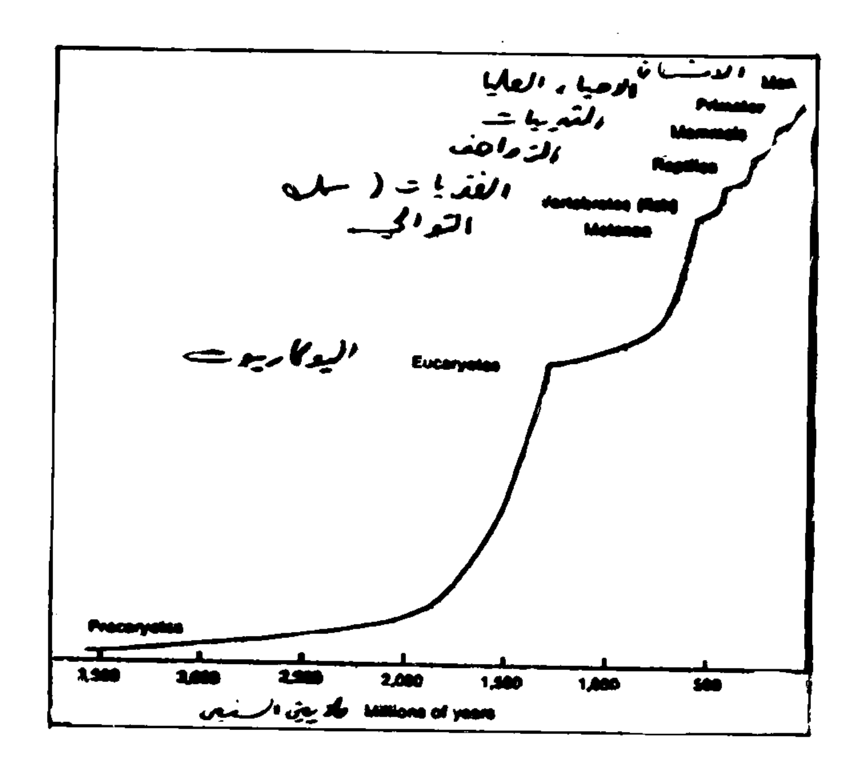
الطاقة هي المنطلق الذي يدفع اشكال الحياة الى التزايد حجما وتعقيدا، والى واقعية ملموسة أعظم . لكننا فيما نرتب سياق التقدم التطوري نكتشف مدلولا مقلقا.

كل خطوة تشكل منحنى تطوريا، وجميع الخطــوات معا ترسم تقدما متسارعا لكل التطور البيولوجي بأجمعه. استغرق أكثر من نصف الزمن في التقدم من البروكاريوت ، واستغرق ذلك الزمن لبلــوغ مستوى السمك، وفيما تتابعت الخطوا تالمتلاحقة قل زمن التلاحق. انه منحنى جسم متسارع يجمع العزم، كالكرة الساقطة من علو . وتمضي القوة الــدافعة بلا كبح، ويملي العزم السرعة.

ويبدو ان كل تطــور رئيس في النشوء يستغــرق زمنا أقصر فأقصر. يبدأ كل تطور ببطء، ولكنه بالاغتذاء بعزم الذاتي يبدأ بالتســارع الى أن يسرع الى حالته المتطورة ، وعندما يبلغ مستوى ختاميا ، وهو مرحلة أعلى في النشوء، يبدأ انسال شكل الحياة الجديد بتكرار الدورة ، مستنشئة صفة ما تفضي أخيرا الى خطوة تالية أخرى.

تتوازن شدف من الاحياء وتتوقف عن التطور، لكن التقدم الاجمالي للرتل البيولوجي لا يبلغ التوازن ، بل بالعكس، يواصل التسارع مرحلة تلو

مرحلة بوتيرة توحي الى أن فترة تفوق الانسان ستكون وجيزة. فاننا في الظاهر قد بلغنا نقطة حرجة في التطور البيولوجي. وأما أن تيار التطور لم يعد يصدق، واما ان تغيرا جذريا في مسيرة التطور على وشك الوقوع . أياً كان الأمر فأننا في خضم شيء خطير يتمخض.



الشكل ١/٢٨ ــ مخطط بياني يرسم تتابع مراحل النشوء الرئيسة المفضية الى الانسان.

تعمل آلية المنظومات البيولوجية بالتفاعلات التلقائية ، تفاعلات كيميائية ليست متوازنة مع المحيط تمثل طاقة كامنة بمثابة قوة دافعة . تمكنت الخلية بعزل وتنسيق عمليات كيميائية منتقاة ضمن غشاء عازل من خلق قدرتها الكامنة من الطاقة وتوجيه قوتها لانجاز الانشطة الخلوية.

كانت عملية عزل الخلية انتقائيا من البيئة بواسطة غشاء ضرورية للكمون. كما انها جعلت الخلية البدائية كيانا مستقلا ، وعندما أصبحت الخلية ذاتية التحفيز انعتقت من اعتمادها الشديد على البيئة الكيميائية للتحكم في عملياتها الخاصة وابتعدت عن الوسط ما قبل الحياتي متجهة نحو تطور منفصل.

هاتان الخطوتان ، أي تكوين طاقة كامنة كقوة دافعة ، واستخدام السيرورات الدورية لخلق مراحل مستقلة ، كانتا طريقتين رئيستين في مسيرة النشوء . كانتا جوهريتي الضرورة لتكوين الخلايا البيولوجية، وهمامتصلتان مباشرة بتفوق الانسان. كان الادراك الذاتي التفاعل الدائري الذي أتاح لنا ان نرى أنفسنا مستقلين عن المشهد الطبيعي. واستخدام الطاقة الخارجية أعان الانسان على التفوق والارتقاء بعيدا عن الحيوانية .

يرسم تقدمنا في التحكم بالطاقة مسار مجتمعنا التكنولوجي . كانت الخطوة الاولى طويلة، وابتدأت بالجبار بروميثيوس (Prometheus) ، لكنها بقيت تطورا بطيئا لزمن مديد . طوال نصف مليون من السنين لم يملك الانسان غير النار كمصدر طاقة خارجي ذي أهمية . وأثناء تلك الفترة الطويلة صقل مهارته في صنع الاسلحة والادوات ، لكنها بقيت كتمديدات لطاقته الايضية . لم تبدأ الزراعة الا قبل حوالي ١٠٠٠٠ سنة تحل محل مجتمع الصيد والقنص . توطدت المجتمعات وبدأت تنمو، وأخذت تستعين بالبهائم في انجاز أعمالها. وفيما بدأ اكتشاف الأسس والقواعد الهندسية بدأ الانسان

بتسخير الرياح والماء لاعماله ، لكن الطاقة الايضية بقيت المصدر الرئيس للطاقة المقننة، ولم يتم تسخير كمون النار العظيم لانجاز عمل الى أن تم اختراع المحرك البخاري قبل أقل من مائتي سنة. واذ بدأت عجلات الصناعة تدور باستغلال الطاقة الكامنة في المخازين الهائلة من الوقود الاحفوري . ثم في عام ١٩٤٥ تم اطلاق طاقة الذرة في أحوال مقننة في مفاعل ذري في مختبرات ارغون بشيكاغو.

وفيما استتب الوسط بفعل التقدمات الاجتماعية والتكنيكية ، اتخذت الطاقة وسيطرتنا عليها أهمية متزايدة، وتسارع السير مع كل خطوة ، الى أن أصبح المجتمع الآن يستهلك الطاقة بوتيرة فلكية . يرسم التطور منحنى نموذجيا للتغير النشوئي يبدأ بالتقدم ببطء، ثم يتسارع الى أن يقارب النهاية فيندفع متسابقا الى مستوى نظامي آخر.

لكن أي مستوى نظامي يمكن ان يخلفنا؟

لا يمكن اعتبار انواع فردية وبيئاتها في انعزال بمفردها، فان كل منظومة بيئوية هي جزء من سلسلة من منظومات بيئوية التي تكبر بمراحل من الاصغر الى الاكبر بواسطة عرى تغذية ارتجاعية متواشجة وتتسع الى أن تشمل النطاق الحيوي برمته . كما ليست البيئة منفصلة عن الخلائق الحية التي تقطن فيها. فالتربة والبحر والهواء جزء من النطاق الحيوي الذي تقوم بتغذيته وتتأثر بالتوازن بين غازات الجو والبحار. وتوجد عمليات تبادل الغاز البيولوجي بين الجو وجميع الكائنات الحية . فالنباتات تتناول ثاني اوكسيد الكربون وتطلق الاوكسجين ، والحيوانات تستخدم الاوكسجين وتطرد ثاني أوكسيد الكربون . زيادة على ذلك، هناك عدد من الغازات بمقادير أقل، كالميثان ، والاوكسيد النيتروجيني ، وأول أوكسيد الكربون ، والامونيا، تطلقه المنظومات الحية، ولاسيما المتعضيات المجهرية في الجو. وعليه،

فان الجو يتألف على وجه التقريب من نسبة اربعة الى واحدمن النيتروجين الى الاوكسجين، مع عدد كبير من المقومات الضئيلة في تركيزاتتبقى ثابتة على مدى أحقاب طويلة من الزمن الجيولوجي. والنقطة ذات الاهتمام هي أنها جميعها غير متوازنة الى حد كبير.

يمثل جو الارض شذوذا عن القاعدة في كونه يتألف من خمسة وسبعين بالمائة (٧٥٪) من الهيدروجين. ان جوا يتألف منواحدوعشرين بالمائة (٢١٪) من الاوكسجين يمثل كمون طاقة ضخم مع جوف الارض . وهذا كمونناتج عن السيرورات البيولوجية ويستديم بهاء وقد قدر ان من دون اطلاق النباتات الاوكسجين في الجو من عملية التمثيل الضوئي، لكان يضيع جميع الاوكسجين الطليق ضمن فترة الفي (٢٠٠٠) سنة في اكسدة الصخور والغازات المنبثقة من الانشطة البركانية[١].

ليس فقط الغازان الرئيسان ، النيتروجين والاوكسجين ، غيرمتوازنين، وانما مكونات جوية صغرى هي أكثر غزارة بكثير مما ينبغي أن تكون وفق كيمياء التوازن . اضافة الى ذلك، تبقى تركيبة الجو ثابتة نسبيا بالرغم من غزوات الطبيعة والانسان الصناعي . لابد انه توجد آليات تنظيمية تحتفظ بهذا الثبات، ولادامة عدم التوازن يلزم تغذية الآلية بامداد من الطاقة باستمرار.

تعتبر الحياة هي المنظومات البيولوجية وان السمة الفريدة لخلية تتألف من جزيئات بيولوجية مغلفة بغشاء دهني شبه انفاذي انتشاري، وتم نقل هذه الصفة الى النباتات والحيوانات المعقدة عندما اجتازت الخلايا الى طور التعددية ، غير ان هذه الصفة تملك مدلولا اوسع من التعريف الضيق المقصور على المتعضيات المنفصلة القائمة بذاتها. ان مؤتلفات المتعضيات (combinations) مثل مجموعات من المتعضيات المجهرية ، والحشرات،

والانسان فتأخذ حيوية خاصة بها • وهذه تتزود من طاقة افرادها أو اعضائها وتوزعها على الوحدة بأجمعها • وهذه بدورها هي علاقة تعايشية يستمد الافراد منها فوائد يعجز الفرد من بلوغها لوحده والاعتماد هذا مديم للحياة• فلا النمل ولا النحل ولا الانسان تستطيع العيش طويلا كمخلوقات منفردة وحيدة ، وعندما يموت المجتمع يموت الافراد مثلما تفعل خلايا الجسم المتوفى•

ان الصفة التي ننعتها بالحياة تختلق في منظومات ذاتية الادامة وقادرة على الحفاظ بكمون من الطاقة لدفع انشطتها، وهذا الكمون يمثل لا توازنا عبر حد بين باطن الوحدة والبيئة المحيطة • والحد بالنسبة الى الخلية البيولوجية هو الغشاء الدهني، أما بالنسبة الى مجتمع فيتم وضعه من قبل العضوية المغلقة، وبالنسبة الى النطاق الحيوي بأجمعه هو الجو المؤكسج ومجموع كوامن النطاق الحيوي الذي يمدد اللاتوازن•

وعندما نتأمل الارض نكتشف أن النظام برمته يملك هذه الخواص نفسها الموجودة في الكيان الحي•

قام جيمز لفلوك من انكلترة ولين مرغوليس من جامعة بوسطن بطرح فرضية غايا (Gaia =الهة الارض وأم الجبابرة عند الاغريق القدماء) حيث يعتبر جو الارض بمثابة جهاز الدورة الدموية للنطاق أو الجو الحيوي[٢] (biosphere) • تشكل بعض اوجه الجو ، كدرجة الحرارة ، والتركيبة، وحالة الاكسدة ــ الاختزال ، والحموضة ، استقرارية متجانسة او ستاتية متجانسة (homeostatic) • ولما كانت هذه الخواص هي بذاتها منتوجات النشوء المتطور، فان الجو يملك مظهر كونه ابتكارا تم تشكيله جماعيا من قبل المنظومات الحية لانجاز وظائف التحكم والسيطرة اللازمة • تعتبر المادة الحية والهواء والمحيطات وسطح الارض اليابسة كأجزاء من نظام كلي عملاق يملك القدرة على التحكم بدرجة الحرارة وتركيبة البحر والهواء

وحموضة التربة لمواصلة بقاء النطاق الحيوي. وبعبارة أخرى ان النظـام بمجموعه يبدو انه يسلك كمتعضية حية.

نحن سيرورة ضمن سيرورة ومنذ ايام بروميثيوس نطلق بتسارع مخازين من الطاقة لاحكام سيطرتنا وسيادتنا على الطبيعة . لكننا لسنا ظاهرة منعزلة، وانما نحن ذروة النشوء البيولوجي الذي أحال الارض الى سيرورة دينامية ذات ابعاد رهيبة هائلة . ونحن الآن قد اتممنا الدورة بأكملها، وغدونا في وضع مماثل بشدة لوضع متعضيات اليوكاريوت عندما ظهرت قبل أكثر من الف مليون سنة مضت ثم اقتحمت الى بعد جديد تماما.

عملت السيانوبكتيريا طوال الفي (٢٠٠٠) مليون سنة على تكوين وترسيخ قاعدة امتصاص الطاقة الشمسية . فتناول النطاق الحيوي هذه الطاقة وتمثّلها باطنيا بالنمو الجانبي وبالنمو الهرمي في سلاسل الاغذية فيما كانت الطحالب تحرر الاوكسجين الطليق وتبثه في البيئة . واقتدح التغير بالتبدل الطفري، كدقات الساعة نحو تنظيم أعلى للدنأ DNA، بأثر الارتطام الطاقوي الشديد من الاشعة الكونية، الا أن الالتقاء الطبيعي (natural selection) عمل كترس وسقاطة (ratchet) ضد العودة الى مستوى أخفض.

لكن الآلية كانت تراوح، وبقيت الحياة على مستوى البروكاريوت لحين امكان دفع البيئة الارضية برمتها الى الأمام. استغرق ذلك دهـورا لكن التنفس لم يصبح ممكنا الى ان وصل مستوى الاوكسجين الطليق الى واحد بالمائة من كميته او قيمته اليوم. وقد كان في هذه النقطة ان بلغ كمون الطاقة ارتفاعا امكن معه الاستدرار منه بظهور الخلايا اليوكاريوتية لتحقيق تنظيم بنيوي أعظم. كان عظم كمون الطاقة قد بلغ درجة بحيث انفتح الباب الى بعد جديد كلي بالحجم ومضت اليوكاريوت قدما في مسيرتها الى مستويات أعلى.

تم اجتياز المرحلة الاحادية الخلية الى المستوى النسيجي من التطـور بالاسفنج واللاحشويات ، واستغرق التطور مائة مليون سنة أخرى للتقدم من المستوى النسيجي الى حيوانات ذات أعضاء• لكن النتيجة كانت انفجارية• اندفعت البيولوجيا أو الاحياء بقوة ، بلا وجل ولا مقاومة ، الى الخـواء البعدي مفضية الى نشوء سريع لجميع العوائل الحيوانية الا واحدة ، وتمكنت الفقريات فقط من النشوء في وقت لاحق من الحبليات، غصـت البحـار بالمفصليات والرخويات والديدان ولا فقريات غيرها ، وبدأ النشوء البيولوجي على الطريق مكررا الدورة •

ظل النشوء يتزود من كمون الطاقة في الارض طوال ست مائة (٦٠٠) مليون سنة لتوسيع النطاق الحيوي الى جميع انحاء البعد الجديد • (وتتم ادامة هذا الكمين بعمليـة التمثيل الضوئي، لاسيما بالعوالق النباتيـة في البحار)• تطورت سلاسل الغذاء لاستيعاب احتياطي الطاقة المتزايد، واصبحت البنية البيولوجية في الحياة الحيوانية معقدة ومهذبة للغاية ، وامتدت الحياة الى جميع البقاع البيئية الحيوية الممكنة، من المياه المتجمدة في المناطق القطبية الى أعماق البحار الغائرة • والانسان، في توسعه، مدد سيـادته الى جميع مرافق الخلائق الحية الأخرى، انما بالأحرى فتح انسال بروميثيوس صندوق باندورا (Pandora's box) ليجد كنوزا هائلة من كمائن الطاقة يعجز الخيال عن تصورها، ووجدوا كميات هائلة من الطاقة في مواد الوقود الاحفورية ، والآن فتحوا ايضا كمون الطاقة الرهيبة في الذرة•

بلغ التطور البيولوجي للانسان هضبة قبل حوالي مائة الف (١٠٠ ٠٠٠) سنة وبقي هناك طول الزمن دون تغييريذكر• ان تطورنا النشوئي كنوع قد بلغ النضج، لكن بنيتنا الحضارية هي التي تواصل التطور الآن• لقد بلغت بيولوجيتنا او حيويتنا مرحلة توازنها، لكن مجتمعنا التكنولوجي لم يفعل بعد•

وهو يواصل التسابق بعزم متزايد في منحنى متسارع مندفعا بزخم الطاقة الذي يمضي بلا مقاومة • نحن الآن في المرحلة المعادلة للحقب التي سبقت ثورة اليوكاريوت ، حين كانت البروكاريوت قد توسعت في الأعداد الى منتهى حدود تعقدها • غير ان استخدامها للطاقة لم يؤد الى التوازن ، وانما عجل في تراكم كمون الطاقة وأدى الى فقدانها لسيادتها •

تستهلك تكنولوجيتنا الطاقة بوتيرة هائلة، وفي أثناء هذه السيرورة تبتكر الوسائل للكشف عن مصادر أعظم• الا انه يوجد حد لكمية الطاقة التييمكن امتصاصها بطريقة انتظامية في حيز مغلق• وكما حصل لدى اليوكاريوت ، سيقذف بنا كميننا الطاقوي الى بعد أعظم•

اننا نتطلع من خلال الغلاف الغازي الذي يلف الارض ونرى كونا منثورا بآلاف الملايين على آلاف الملايين من العوالم الأخرى، كامنة امامنا كسواحل نائية، كقارات بعيدة غير مستقصاة • فالفضاء خاو شاغر وأراضيه مجدبة مقفرة، ومغرية تدعونا اليها، كتكرار ذلك الحدث في فجر الحقبة الكمبرية قبل مئات عديدة من ملايين السنين حين اقتحم اسلافنا الى بعد آخر وخرجوا من البحار لاستيطان القارات • وهذه الفرص تذكي مخيلتنا وتشد على مصيرنا • وتملؤنا سعة الفضاء الهائلة بالرهبة ، وتجتذبنا اليها ببطء كمغنطيس لا يقاوم •

لقد تحتم على توسعنا التغلب تكرارا على مجموع العقبات والعوائق الزمنية والمسافية ، وفيما بقيت حاستنا الزمنية بلا تغيير نسبيا ضمن مدى ضيق، فاننا قد استطعنا خرق الحواجز وذلك بتقليص المسافة بالانتقال الاسرع• لكن الكون بعد آخر• والمسافات الى النجوم هائلة بحسب مقاييسنا بحيث لم يعد ممكنا ضمن قوانيننا الفيزيائية تحقيق العبور في زمننا• لقد بلغنا غاية جهدنا ووصلنا منتهى عقالنا في توسعه شدفتنا من الحبيكة المادية • بارتباطنا

بحدود موضع الحجم والبعد لا نملك القدرة على تعظيم الحركة بما يتيح لنا توصيل نظامنا بموضع كوكب او نجم آخر • اذ لتحقيق هذا يتحتم علينا تكبير سيادتنا الحجمية البعدية بالمقاييس الكونية•

نحن الآن في الفاصل البيني بين بعدين عظيمين، كون الأحياء المجهرية الدقيقة والكون الاكبر• الأول مبني على قوة الاجتذاب الكهروستاتي والتي تنمو منها البنى الجزيئية والخلوية، بينما الآخر منمط بقوة الجاذبية القائمة بين الكتل الكبرى، والحجم هو الميزة الوحيدة بين البعدين ويعمل عكسيا مع قدرة القوة الرابطة• والميكروبة المحاطة بالتفاعلات الشديدة للعالم الجزيئي ، تقع بعيدة دون منال الجاذبية ولا تملك ادراكا بوجودها • لكننا نحن في الفاصل البيني• نرى تلك الأشياء أصغر منا تستجيب لعلاقات الالفة الكيميائية، وتحس كتلتنا بشد الجاذبية الساحب فتحكي لنا الحبيكة التي تضم الكون•

ان انحيازنا البيولوجي يحجب عنا دورنا الكوني، ونحن نعتبر الحياة والوعي بمثابة الأشكال النهائية للتحقق المادي ونؤمن أن الانسان وأخلافه الداروينيين سيمسكون بزمام غزو الفضاء• تراودنا افكار التواصل مع منظومات أخرى من نوعنا في المجرة ، لغرض اخراجها واخراج أنفسنا من العزلة الى النور المشترك للوجود الواعي • لكن النجوم مواضع وقوع الارتباط لحبيكة البعد الكوني، وسواحلها هي الكواكب، وقاراتها هي المنظومات الكوكبية ، وعوالمها جزر كونية من آلاف الملايين اللامحدودة من النجوم مبعثرة في بحر خاو من الجسيمات والنوى الفرع ذرية ، أو الفرعذرية (اذا استسيغت الصيغة)• ولكي ندخل الى هذه الساحة ونصبح جزءا منها يتحتم علينا أن نملك التركيبة المعقدة وناصية طاقة متناسبة لنتمكن من القبض على زمام السيطرة والتحكم بالمادة والبعد على ذلك النطاق•

خلقت البروكاريوت كمون طاقة عجزت عن السيطرة عليه • فخلفها

ليس شكلا أكثر تطورا من البروكاريوت وانما خلق جديد كليا نهض من توالف لاصناف متنوعة • كان يوجد في التنويعة بين آلاف الملايين اللامعدودة من الميكروبات البروكاريوتية متعضيات لها انزيمات لاستخدام الاوكسجين الجزيئي للتنفس ، ونشأت أخرى لها انزيمات لوقاية انفسها من الفناء بالأكسدة • وعندما بلغ كمون الاوكسجين الجوي مستوى حرجا اثناء الحقبة ما قبل الكمبرية ، كون صنفا المتعضيات اتحادا تعايشيا واندمجا ببعضهما في صنف واحد تراجعت امامه البروكاريوت الى اكارع منعزلة من البيئة لتقضي ايام وجودها كأحافير حية من عصر انقضى وزال • واليوم يضم البدن البشري لوحده أعدادا هائلة من البكتيريا التي قد كيفت أنفسها للعيش في باطن منتوج متطور من خلقتها أو صنفها هي•

والآن قد أخذت الدورة تشارف اتمام لفة كاملة فقدت البروكاريوت سيادتها ليس فقط بمجرد انها سمحت بيئتها وانما لأنها كانت على حافة بعد أكبر وخلقت كمونا من الطاقة ملك القدرة لدفع شكل جديد من الحياة اليه• ونحن ايضا نقف متوازنين على لوحة الانطلاق نستعرض متجه مستقبلنا•

نحن نتوهم بأن افعالنا نابعة منا وأن يدنا هي التي تقبض على زمام الأمور• لكن الكون لا يشاركنا في انحيازنا البيولوجي، ان الحياة والوعي من خصائص المخلوقات الحية ، وفي التطور الكوني تأتي الأحياء أو البيولوجيا بمثابة طور يقع بين التطور الكيميائي والتطور الذي سيليه • وخواصنا البيولوجية هي صفات نشأت لملاءمة الاحوال القائمة في بعدنا• أما البعد الكوني فيخص منظومات تمتلك القدرة على التسامي على متسعات الزمان في الرحاب المجرية•

وفيما نواصل التبصر أبعد فأبعد ابدا في الزمن والبعد من خلال

الخصائص في قضيتنا الانفرادية المتمركزة في قشرة الأنوية نرى كونا دواما يصيح ويضج بالتطور الدينامي ، فندرك اننا لربما ، مجرد لربما ، كنا نبحث عن الجواب للسؤال المغلوط . ان الأمر لم يعد الآن مسألة كيف يتلاءم الكون مع الكائن الانساني ، بل بالأحرى، كيف يتلاءم الانسان كي يكون كائن الكون؟

ليس الجنس البشري لوحده هو الذي يصل الى الفضاء ، انما الارض بنطاقها الحيوي هي التي قد بدأت تمد نفسها وتتوءاتها الى المنظومة الشمسية. ان تكنولوجيا الانسان تمثل نهاية مدى التطور البيولوجي والولوج الى طور التطور الميكانيكي . ومبتكراتنا الآن هي في تلك المرحلة التي كان التطور الكيميائي قد بلغها على الأرض البدائية مباشرة قبل خلقه الخلايا الاولى واتيانه بالتطور البيولوجي، انها الآن في طريقها الى الاكتفاء الذاتي مثل لخلايا البيولوجية ، وحتى اننا قد يكون في وسعنا أن ندمج فيها وعينا ونجعلها مستقلة بما يكفي لكي نطلقها سهوا في تطورها الخاص بها.

تملك مختلقاتنا القدرة لتفضي الى شبكة بحجم المجموعة الشمسية ، كالجنين النامي، حيث تتمايز الخلايا لأداء وظائف معينة ، بوسع متجهنا التكنولوجي أن ينمو الى المنظومة الشمسية في اتحاد بشري مكائني، الى أن في النهاية ربما يتضاءل دور الانسان ويلتغي، فيمسي هو في حالة التطور الراكد الآسن كالميكروبة البروكاريوتية في كونها القطيري، بينما تواصل خلائقه السير الى أبعاد أعظم.

فيما نعيش حياتنا نحن كأفراد وكنوع يبدو ان دورنا في السيرورة الكونية مقدر لنا مسبقا . يوجد مغزى كوني لمنحى الانسان . فنحن نحاول ، في عالم متفجر سائر الى الفوضى، ايقاف التيار باعادة كبس الزمن والمكان في حيز النظام، لقد غدا الانفجار الاجتياحي الذي خلق الكون المادي حساء مبتلا بالطاقة الكامنة الانتظامية . وكالعنقاء (phoenix) الأسطورية التي نهضت

متجددة من ارمدتها ذاتها ، يملك الكون في باطنه بذور انبعاثه مجدداً.

ربما لن نعلم أبدا ماهية خليقتنا ، وربما لن نعلم ابدا الصفات التي تكمن ما وراء قدرة الوعي والادراك الذاتي، والتقدم نحو أشكال أكبر وأكثر تطورا سيحمل خليقتنا الى خارج نطاق الادراك البشري وخارج شدفتنا من الكون، الى بعد جديد وواقع جديد.

NOTES

Chapter 1. Building Blocks

1 H. Urey, **The Planets** (New Haven: Yale University Press, 1952).
2 H. C. Urey, On the early chemical history of the earth and the origins of life, Proc. Nat. Acad. Sci. 38, 351-363 (1952).

3 A. I. Oparin, The Origin of Life, trans. S. Morgulis (New York: Macmillan, 1938).
4 S.L. Miller, A production of amino acid under possible primitive earth conditions, Science 117, 528-529 (1953).

5 S.L. Miller, The first laboratory synthesis of organic compounds under primitive earth conditions, in The Heritage of Copernicus: Theories Pleasing to the Mind, J. Neyman, ed. (Cambridge, Mass: The MIT Press, 1974), pp. 228-242.

Chapter 2. Early Earth

1 B. G. Marsden and A. G. W. Cameron, The Earth-Moon System (New York: Plenum Press, 1966), p. 73.

2 William W. Rubey, Geologic history of seawater, Bull. Geol. Soc. Am. 1111-1146 (1951).
3 S. Moorbath, R.K. O'Nions, aynd R.J. Pankhurst, Early Archean age for the Isua Iron Formation, West Greenland, Nature 245, 136-139 (1973.
4 L. Paul Knauth and Samuel Epstein, Hydrogen and oxygen isotope ratios in nodular and bedded cherts, Geohim. Cosmochim. Acta 40, 1095-1108 (1976).

Chapter 3. Life before the Precambrian

1 M. F. Glaessner, Pre-Cambrian animals, Sci. Amer. 204 (3), 72-76 (1961); **R. Goldring and C. N. Curnow**, The stratigraphy and facies of the Late Precambrian at Ediacara, South Australia, J. Geol. Soc. Aust. 14, 195-214 (1967); M. Wade, Preservation of soft-bodied animals in Precambrian sandstones at Ediacara, South Australia, Lethaia. 1, 238-267 (1968).
2 Adolph Knopf, The boulder batholiths of Montana, Amer. J. Sci. 255, 81-103 (1967).
3 M.R. Walter, Stromatolites and Biostratigraphy of the Australian Pre-



cambrian and Cambrian, (London: The Palaeontological Association 1972).

4 Preston Cloud and Aharon Gibor, The oxygen cycle, Sci. Amer. 223 (3), 110-123 (1970).

5 P. Cloud, Evolution of ecosystems, Amer. Scientist 62, 54-56 (1974).

6 S.S. Gildrich, Ages of Precambrian banded iron-formation, Econ. Geol. 68, 1126-1134 (1973).

7 S. Moorbath, R.K. O'Nions, and R.J. Pankhurst, Early Archean age for the Isua Iron Formation, West Greenland, Nature 245, 138-139 (1973).

8 S.A. Tyler and E.S. Barghoorn, Occurrences of structurally preserved plants in Precambrian rocks of the Canadian Shield, Science 119, 606-6-8 (1954).

9 E.S. Barghoorn and S.A. Tyler, Microorganisms from the Gunfflint chert, Science 147, 563-577 (1965).

10 J.W. Schopf, Microflora of the Bitter Spring Formation, Late Pre-Cambrian, Central Australia, J. Paleontol. 42, 650-688 (1968).

11 E.S. Barghoorn and J.W. Schopf, Alga-like fossils from the Early Precambrian of South Africa, Science 156, 508-512 (1967).

12 Hans D. Pflüg, Structured organic remains from the Fig Tree Series (Precambrian of the Barberton Mountain Land, South Africa), Rev. Palaebot. Palynol. 5, 5-29 (1967).

13 A. Engel, B. Nagy, L. A. Nagy, E.G. Engel, G.O.W. Kremp, and C.M. Drew, Algal-like forms in Onverwacht Series, South Africa: oldest recognized life-like forms on earth, Science 161, 1005-1008 (1968).

14 J. Brooks and M.D. Muir, Chemistry and morphology of the microorganisms in the Early Precambrian rocks of the Onverwacht Group, I.U.P.A.C. International Symposium on Chemistry in Evolution and Systematics, held at Strasbourg, France, July 3-8, 1972.

15 J. Oró and D.W. Noones, Aliphatic hydrocarbons in Precambrian rocks, Nature 213, 1082-1083 (1967).

16 J. Han and M. Calvin, Occurrence of fatty acids and aliphatic hydrocarbons in a 3.4 billion-year-old sediment, Nature 224, 576-577 (1969).

17 B. Nagy, Porosity and Permeability of the Early Precambrian Onverwacht chert origin of the hydrocarbon content, Geochim. Cosmochim. Acta 34, 525-527 (1970).

18 D. Z. Oehler, Carbon Isotopic and Electron Microscope Studies of Organic Remains Precambrian Rocks (Ph. D. thesis, Univ, of Calif., Los Angeles, 1973).

19 D. Z. Oehler, J. W. Schopf, and K. A. Kvenolden, Carbon isotopic

studies of organic matter in Precambrian rocks, Science 175, 1246-1248 (1972).
20 J. W. Schopf, Biogenicity and significance of the oldest known stromatolites, J. Paleontol. 45, 477-485 (1971).
21 J.W. Dunlop, M. D. Muir, V. A. Milne, and D.I. Groves, A new microfossil assemblage from the Archaean of Western Australia, Nature 274, 676-678 (1978).
22 A. S. Lopuchin, Structures of biogenic origin from Early Precambrian rocks of Euro-Asia, Origins of Life 6, 45-47 (1975).
23 J. William Schopf, Are the oldest "fossils," fossils? Origins of Life 7, 19-36 (1976); Preston Cloud and Karen Morrison, On microbial contaminants, micropseudofossils, and the oldest records of life, Precambrian Res. 9, 81-91 (1979).
24 P.E. Cloud, G.R. Licari, L. A. Dright, and B. W. Tro el, Proterozoic eucaryotes from eastern California, Proc. Nat. Acad. Sci. 62, 623-630 (1969).
25 J. William Schopf and Dorothy Z. Oehler, How old are the eucaryotes? Science 193, 47-49 (1976).
26 Gerald R. Licari, Biogeology of the late pre-Phanerozoic Beck Spring Dolomite of eastern California, J. Paleontol 52, 767-792 (1978).
27 G.R. Licari and P. Cloud, Prokaryotic algea associated with Australian Proterozoic stromatolites, Proc. Nat. Acad. Sci. 62, 56-62 (1972).
28 H. Tappan, Possible eucaryotic algea (Bauglophycidae) among early Proterozoic microfossils, Geol. Soc. Am. Bull. 87, 633-639 (1976).
29 A. H. Knoll and E. S. Barghoorn, Precambrian euqaryoaic organisms: a reassessment of the evidence, Science 190, 52-54 (1975).
30 B. Bloeser, J.W. Schopf, R.J. Horodyski, and W.J. Breed, Chitinozoans from the Late Precambrian Chuar Group of the Grand Canyon, Science 195, 676-679 (1977).

Chapter 4. The Age of Procaryotes

1 D.Z. Oehler, J.W. Cchopf, and K. A. Kvenvolden, Carbon isotopic studies of organic matter in Precambrian rocks, Science 175, 1246-1248 (1972).
2 Josephine E. Tilden, The Algae and Their Life Relations (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1935).

Chapter 5. The Advance of the Eucaryotes

1 Paul Knauth and Samuel Epstein, Hydrogen and oxygen isotope ratios

in nodular and bedded cherts, Geochim. Comochim. Acta 40, 1095-1108 (1976).

2 B. G. Marsden and A. G. W. Cameron, The Earth-Moon System (New York: Plenum Press, 1966), p. 73.

3 Dorothy Hinslow Patent, Microscopic Animals and Plants (New York: Holiday House, 1974), p. 61.

4 H. V. Wilson, On some phenomena of coalescence and regenerative sponges, J. Exptl. Zool. 5, 245-258 (1907).

5 J. Holtfreter, Gewebeaffinität ein Mittel der embryonaten Formbildung, Arch. exptl. Zellforsch. Gewebezücht 23, 169-209 (1939).

6 A. Mocona and H. Moscona, The dissociation and aggregation of cells from organ rudiments of the early chick embryo, J. Anat. 86, 287-301 (1952).

Chapter 6. Life's Cellular Nature

1 J. Cairns, from Braum: Bacterial Genetics, 2d ed. (Philadelphia: W.B. Saunders Co., 1965.

2 B. Byers, Structure and formation of ribosome crystal in hyperthermic chick embryo cells, J. Mol. Biol. 26 155-167 (1967).

3 Ernest Borek, The Sculpture of Life (New York: Columbia University Press, 1973), pp. 10-12.

4 J. M. Whatley, The fine structure of Prochloron, New Physiologists 79, 309-311 (1977).

Chapter 7. Molecular Architecture

1 J. B. Summer, Isolation and crystallization of the enzyme urease, J. Biol. Chem. 69, 435-440 (1926); J.B. Summer, Recrystallization of urease, J. Biol. Chem. 70, 97-98 (1926).

Chapter 8. The Molecular Basis of Life

1 F. Miescher, Uber die chemische Zusammensetzung der Eierzellen, Hoppe-Seyler Med. Chem. Untersuch 44a (1871).

2 2 O. T. Avery, C. M. MacLeod, and M. McCarty, Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pnuemococcal types, J. Exptl. Med. 97, 137-157 (1944).

3 G. W. Beadle and E. L. Tatum, Genetic control of biochemical reactions in Neurospora, Proc. Nat. Acad. Sci. 27, 499-506 (1941).

4 W. M Stanley, Isolation of a crystalline protein possessing the properties



of Tobacco Mosaic virus, Science 81, 644-645 (1935).
5 E. Schrödinger, What Is Life? (New York: Macmillan, 1945).
6 E. Chargaff, S. Zamenhof, G. Bravermian, and L. Kerin, Bacterial deoxypentose nucleic acids of unusual composition, J. Am. Chem. Soc. 72, 3825 (1950).
7 L. Pauling and R.B. Cores, structure of the nucleic acids. Nature 717, 346 (1953); L. Pauling and R. B. Corey, A proposed structure for the nucleic acids, Proc. Nat. Acad. Sci. 39, 84-97 (1953).
8 J. D. Watson. Molecular Biology of the Gene, 2d ed. (New York: Benjamin, 1970); J. D. Watson and F. H. C. Crick, A structure for deoxyribose nucleic acid, Nature 171, 737-738 (1953); J. D. Watson and F. H. C. Crick, Genetics implications of the structure of deoxyribonucleic acid, Nature 171, 964-967 (1953).
9 M. Goulian, A. Kornberg, and R. L. Sinsheimer, Enzymatic synthesis of DNA. XXIV. Synthesis of infectious phase O X-174, Proc. Nat. Acad. Sci. 58, 2321-2328 (1967).

Chapter 9. From Blueprint to Oragnism

1 T. Caspersson, Studien über den Eiweissumsatz der Zelle, Natur iss. 29, 33-48 (1941).
2 J. Bracht, La localization des acides pentosenucleiques dans les tissus animaux et les oeufs d'Amphibiens en voie de devèloppement, Arch. Biol. (Liege) 53, 207-257 (1942).
3 H. Borzook, C. L. Deasy, A. J. Hagen-Smit, G. Keighley, and P. H. Lowry, Metabolism of C^{14}-labeled glycine, L-histidine, L-leucine and L-lysine, J. Biol. Chem. 187, 839-848 (1950).
4 R. W. Holley, J. Aggar, G. A. Everett, J. T. Madison, M. Marquisse, S. H. Berrill, J. R. Penswick, and A. Zamur, Structure of a ribonucleic acid, Science 147, 1462-1465 (1965).
5 J. T. Madicon, G. A. Everett, and H. Kung, Nucleotide sequence of a yeast tyrosine transfer RNA, Science 153, 531-534 (1966).
6 J. D. Watson, Involvement of RNA in the synthesis of proteins. Science 140, 17-26 (1963).
7 M. W. Nirenberg and J. H. Matthael, The dependence of cell-free protein synthesis in E. coli upon naturally occurring or synthetic polynucleotides, Proc. Nat. Acad. Sci. 47, 1588-1602 (1961).

Chapter 10. A Thread Unbroken

1 E. Zuckerkandl and L. Pauling, Evolutionary divergence and convergence in proteins, in Evolving Genes and Proteins, V. Bryson and H. J. Vogel, eds. (New York: Academic Press, 1965), pp. 97-166.

2 Motoo Kimura, The rate of molecular evolution considered from the standpoint of populations genetics, Proc. Nat. Acad. Sci 63, 1181-1188 (1969).

3 Vernon M. Ingram, Gene evolution and hemoglobins, Nature 189, 704-708 (1961).

4 Atlas of Protein Sequence and Structure, vol. 5, M. O. Dayhoff, ed. (Washington, D.C.: National Biochemical Research Foundation, 1972).

5 W. M. Fitch and E. Margoliash, Construction of phylogenetic trees, Science 155, 279-284 (1964).

6 Motoo Kimura and Toroko Ohta, On some principles governing molecular evolution, Proc. Nat. Acad. Sci, 71, 2848-2852 (1974).

7 J. L. King and T. H. Jukes, Non-Darwinian evolutoin,, Science 164, 788-798 (1969).

8 R. F. Doolittle and B. Blombäck, Amino-acid sequence investigations of fibrinopeptides from various mammals: evolutionary implications, Nature 202, 147-152 (1964).

9 R. F. Doolittle, G. L. Wooding, Y. Lin, and M. Riley, Hominoid evolution as judged by fibrinopeptide structures, J. Mol. Evol. 1, 74-83 (1971).

10 L. S. B. Leakey, The relationship of African apes, man, and the Old World Monkeys, Proc. Nat. Acad. Sci. 67, 746-748 (1970).

11 A. C. Wilson and V. M. Sarich, A molecular time scale for human evolution, Proc. Nat. Acad. Sci. 63, 1088-1093 (1969).

12 M. O. Dayhoff and R. V. Eck, Paleobiochemistry, in Organic Geochemistry, G. Eglinton and M. T. J. Murphy, eds. (New York, Heidelberg, and Berlin: Springer-Verlag, 1969), p. 205.

13 D. I. Arnon, Ferredoxin and Photosynthesis, Science 149, 1460-1470 (1965).

14 L. E. Mortenson, Ferrdoxin and ATP, requirements for nitrogen fixation in cell-free extracts of Clostridium pasteurianum, Proc. Nat. Acad. Sci. 52, 272-279 (1964).

15 R. Bachofen, B. B. Buchanan, and D. I. Arnon, Ferredolin as a reductant in pyruvate synthesis by bacterial extract, Proc. Nat. Acad. Sci. 51, 690-694 (1964).

16 R. V. Eck and M. O. Dayhoff, Evolution of the structure of ferredoxin

based on living relics of primitive amino acid sequences, Science 152, 363-366 (1966).
17 D. O. Hall, R. Cammack, and K.K. Rao, Role for ferredoxin in the origin of life and biological evolution, Nature 233, 136-138 (1971).
18 S. M. Siegel, K. Roberts, H. Nathan, and O. Daly, Living relative of the microfossil Kakabekia, Science, 156, 1231-1234 (1967).
19 Barbara Z. Siegel, Kakabekia, a review of its physiological and environmental features and their relation to its possible ancient affinities, in Chemical Evolution of the Early Precambrian (New York: Academic Press, 1977), pp. 143-154.

Chapter 11. Two Kinds of Life

1 Cited in E. B. Wilson, The Cell in Development and Heredity, 3d ed. (New York: Macmillan, 1925), p. 45.
2 R. Altmann, Die Elementarorganismen und ihre Beziehungen zu dem Zellen (Leipzig: Veit und Comp., 1890).
3 Cited in Wilson, The Cell in Development, p. 738.
4 I. E. Wallin, The mitochondrion problem, Am. Naturalist 57, 255-261 (1923).
5 H. Ris and W. Plaut, Ultrastructure of DNA-containing areas in the chloroplast of Chlamydomonas, J. Cell Biol. 13, 383-391 (1962).
6 P. R. Bell and K. Mühlethaler, Evidence for the presence of deoxy-ribonucleic acid in the organelles of the egg cells of Pteridium aquilium, J. Mol.Biol. 8, 853-862 (1964); D. J. L. Luck and E. Rich, DNA in mitochondria of Neurospora crassa, Proc. Nat. Acad. Sci. 52, 931-938 (1964); M. M. Nass, S. Nass, and B. A. Atzelius, The general occurrence of mitochondria DNA, Exp. Cell Res. 37, 516-539 (1965); F. L. Schuster, A deoxyribose nucleic acid component in mitochondria of Didymium nigripes, a slime mold, Exp. Cell Res. 39, 329-345 (1965).
7 L. Margulis, Early Life (Boston: Science Books International, Inc., 1982), p. 95.
8 P. L. Carpenter, Microbiology, 3d. ed. (Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1967), p. 15.
9 L. Margulis, Symbiosis in Cell Evolution (San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1981), p. 327.
10 W. F. Doolittle, The cyanobacterial genome, its expression and the control of that expression, in Advances in Microbial Physiology, 20, A. H. Rose and J. G. Morris, eds. (London: Academic Press, 1979), pp. 1-102.

11 Margulis, Symbiosis in Cell Evolution, p. 215.

12 P. John and F. R. Whatley, Paracoccus denitrificans, a present-day bacterium resembling the hypothetical free-living ancestor of the mitochondrion, Symbiosis Proc. Soc. Expt. Biol. 29, 39-40 (London: Cambridge University Press, 1975).

13 D. Searcy and R. J. Delange, Thermoplasma acidophilum histonelike protein partial amino acid sequence suggestive of homology to eukaryotic histones, Biochim. Biophys. Acta 609, 197-290 (1980).

14 C. R. Woese, G. E. Fox, L. Zablen, T. Uchida, L. Bonen, K. Pechman, B. J. Lewis, and D. Stahl, Conservation of primary structure in 16S rRNA, Nature 254, 83-86 (1975).

15 Margulis, Symbiosis in Cell Evolution, pp. 285-309.

16 C. E. Clifton, Introduction to the Bacteria, 2d ed. (New York: McGraw-Hill, 1958), p. 69.

17 Margulis, Early Life, p. 101.

18 Margulis, Symbiosis in Cell Evolution, pp. 256-273.

19 P. E. Cloud, Pre-meazoan evolution and the origins of Metazoa, in Evolution and Environment, E. T. Drake, ed. (New Haven: Yale University Press, 1968), pp. 1-72.

20 J. R. Nursall, Oxygen as a prerequisite to the origin of the metazoa, Nature 183, 1170-1172 (1969); L. W. Berkner and L. C. Marshall, The history of oxygenic concentration in the earth's atmosphere, Discussions Farady Soc. 37, 122-141 (1964); L. W. Berkner and L. C. Marshall, History of major atmospheric components, Proc. Nat. Acad. Sci. 53, 1215-1226 (1965); J. S. Levine, Surface solar ultraviolet radiation for paleoatmosphereic levels of oxygen and ozone, Origins of Life 10, 313-323 (1980).

21 Berkner and Marshall, The history of oxygenic concentration; Berkner and Marshall, History of major atmospheric components.

22 L. Margulis, J. C. G. Walker, and M. Rambler, Reassessment of roles of oxygen and ultraviolet light in Precambrian evolution, Nature 264, 620-624 (1976).

23 C. J. Brock and J. I. Harris, Aspects of the structure and evolution of superoxide dismutases, in The Evolution of Metalloenzymes, Metalloproteins and Related Materials, G. J. Leigh, ed. (London: Symposium Press, 1977), pp. 85-99.

24 Margulis, Early Life, p. 75.

25 Margulis, Walker, and Rambler, Reassessment of roles.

Chapter 12. Archaebacteria

1 Robert M. Schwartz and Margaret O. Dayhoff, Origins of prokaryotes, eukaryotes, mitochondria, and chloroplasts, Science 199, 395-403 (1978); John Barnabas, Robert M. Schwartz, and Margaret O. Dayhoff, Evolution of major metabolic innovations in the Precambrian, Origins of Life 12, 81-91 (1982).

2 D. W. Emerich and R.H. Burris, Interactions of heterologous nitrogenase components that generate catalytically inactive complexes, Proc. Nat. Acad. Sci. 73, 4369-4373 (1976).

3 H. D. Peck, Jr., in Evolution in the Microbial World, M. J. Carlile and J. J. Skehel, eds. (London: Cambridge University Press, 1974), pp. 241-262.

4 M. Schildlowski, Antiquity and evolutionary status of bacterial status of bacterial sulfate reduction: sulfur isotope evidence, Origins of Life 9, 299-311 (1979).

5 Barnabas, Schwartz, and Dayhoff, Evolution of major metabolic innovations.

6 V. DeMoulin, Protein and nucleic acid sequence data and phylogeny, Science 205(1036-1038 (1979).

7 G. E. Fox, E. Stakebrandt, R.B. Hespell, J. Gibson, J. Maniloff, T. A. Dyer, R. S. Wolfe, W.E. Balch, R:S: Tanner, L. J. Margum, L. B. Zablen, K. Blakemore, R. Gupta, L. Bonen, B.J. Lewis, D. A. Stahl, K. R. Luehrsen, K.N. Chen, and C. R. Woese, The phylogeny of prokaryotes, Science 209, 457-463 (1980).

8 C. Woese, M. Sogin, D. Stahl, B. J. Lewis, and L. Bonen, A comparison of the 16S ribosomal RNA's from mesophilic and thermophilic bacilli: some modifications in the Sanger method of RNA sequencing, J. Mol. Evol. 7, 197-213 (1976); G. E. Fox, K. R. Pechman, and C. R. Woese, comparative cataloging of 16S ribosomal ribonucleic acid: molecular approach to procaryotic systematics, Int. J. Syst. Bacteriol. 27, 44-57 (1977); T. Uchida, L. Zonen, H.W. Schaup, B. J. Lewis, L. Zablen, and C. R. Woese, The use of ribonuclease U_2 in RNA sequence determination, J. Mol. Evol. 3, 63-77 (1974).

9 O. Kandler, Zellwandstrukturen bei Methanbakterien zur Evolution der Prokaryoten, Naturwiss. 66. 95-105 (1979).

10 J. B. Jones, B. Bowers, T. C. Stadtman, Mehanococcus vanielli: ultrastructure and sensitivity to detergent and antibiotics, J. Bact. 130, 1404-1406 ((1977); R. L. Weiss, Subunit cell wall of Sulfolbus acidocaldarius, J. Bact. 118, 275-284 (1974).

11 O. Kandler and H. König, Chemical composition of the peptidoglycan-free cell walls of methanogenic bacterium, Arch. Microbiol. 118, 141-152 (1978).
12 G. Darland, T. D. Brock, W. Samsonoѷ, and S. F. Conti, A thermophilic acidophilic mycoplasma isolated from a coal refuse pile, Science 170, 1416-1418 (1970).
13 M. Kates, Ether-linked lipids in extremely halophilic batcteria, in Ether Lipids, Chemistry and Biology, F. Snyder, ed. (New York: Academic Press, 1972), pp. 351-398; T. A. Langworthy, Long-chain diglycerol tetraethers from thermoplasma acidophilum, Biochim. Biophys. Acta 487, 37-50 (1977); S. C. Kushwaba, M. Kates, G. D. Sprott, and I. C. P. Smith, Novel complex polar lipids from the methanogenic archaebacterium Methanospirillum hungeteii, Science 271, 1163-1164 (1981).
14 R. Gupta and C. R. Woese, Unusual modification patterns in the transfer RNAs of archaebacteria, Curr. Microbiol. 4, 245-249 (1980).
15 C. R. Woese, Archaebacteria, Sci. Amer. 244(6), 98-122 (1981); C. R. Woese, Archaebacteria and cellular origins: an overview, Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. C 3, 1-17 (1982).
16 A. T. Matheson, W. Moller, R. Amons, and M. Yaguchi, Comparative studies on the structure of ribosomal proteins with emphasis on the alanine-rich acidic ribosomal A protein, in Ribosomes: Structure, Function, and Genetics, G. Chamblis, G.R. Craven, J. Davies, L. Kahan, and M. Nomumra, eds. (Baltimore: University Park Press, 1980), pp. 297-332.
17 W. Zillig, K. O. Stetter, and D. Janekovic, DNA-dependent RNA polymerase from Halobacterium holobium, Europ. J. Biochem. 91, 193-199 (1978); S. Sturm, U. Schönefeld, W. Zilig, D. Janekovic, and K. O. Stetter, Structure and function of the DNA-dependent RNA polymerase of the archaebacterium Thermoplasma acidophilum, Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. C I, 12-25 (1980).
18 C. R. Woese, A proposal concerning the origin of life on the planet earth, J. Mol. Evol. 13, 95-101 (1979).

Chapter 13. Energetics

1 F. Lipmann, Metabolic generation and utilization of phosphate bond energy, Adv. Enzymol. 1, 99-162 (1941).
2 Albert L. Lehninger, Bioenergetics, 2d ed. (Readinng, Mass.: W. A. Benjamin, Inc., 1971), p. 42.

Chapter 14. The Driving Force

1 R. Hill, Oxygen produced by isolated chloroplasts, Proc. Roy. Soc. B 127, 192-210 (1939).
2 D. I. Arnon, M. B. Allen, and F. R. Whatley, Photosynthesis by isolated chloroplasts, Nature 174, 394-396 (1954).
3 H. A. Krebs and W. A. Johnson, The role of citric acid in intermediate metabolism in animal tissues, Enzymologia 4, 148-156 (1937).

Chapter 15. The Question of Genesis

1 Atlas of Protein Sequence and Structure, Vol. 5, M. O. Dayhoff, ed. (Washington D. C.: National Biomedical Research Foundation, 1972), p. 50.
2 R. J. Britten and D. D.E. Kohne, Repeated sequences of DNA, Science 161, 529-540 (1968).
3 Atlas of Protein Sequence and Structure, vol. 5, pp. D35-D36.
4 H. J. Morowitz, Biological self-replicating systems, Prog. Theor. Biol. 1, 35-58 (1967).
5 Wayne F. Frair, Lifet in a test tube? Quart. J. Creation Res. Soc. 5, 34-41 (1968).
6 M. Dixon and E. C. Webb, Enzymes (New York: Academic Press, 1958), pp. 667-670.
7 H. Fraekel-Contrat and R. C. Williams, Reconstitution of active tobacco mosaic virus from the inactive protein and nucleic acid components, Proc. Nat. Acad. Sci. 41, 690-698 (1955).

Chapter 16. The Essentials of Life

1 R. W. Holley, J. Aggar, G. A. Everett, J. T. Madison, M. Marquisse, S .H. Merrill, J. R. Penwick, and A. Zamir, Structure of a ribonucleic acid, Science 147, 1462-1465 (1965).
2 B. G. Barrell and B. F. C. Clark, Handbook of Nucleic Acid Sequences (Oxford: Joynson-Bruvvers, 1974).
3 L. E. Orgel, Evolution of the genetic apparatus, J. Mol. Biol. 38, 381-393 (1968).
4 Sidney W. Fox, The proteinoid theory of the origin of life and competing ideas, Am. Biol. Teacher 36, no. 3, 161-172 (1974).
5 I. Asimov, Fact and Fancy (New York: Avon Books, 1972), pp. 11-20.
6 J. B. McClendon, Elemental abundances as a factor in the origins of nutrient requirements J. Mol. Evol. 8, 175-195 (1976).

7 D. O. Hall, R. Cammack, and K. K. Rao, Role for ferredoxin in the origin of life and biological evolution, Nature 233, 136-138 (1971).
8 McClendon, Elemental abundances.
9 L. Margulis, Origin of Eukaryotic Cells (New Haven: Yale University Press, 1970), pp. 7, 8.
10 F. H. C. Crick and L. E. Orgel, Directed panspermia, Icarus 19, 341-346 (1973); W. R. Chappell, R. R. Melgen, and D. D. Runnelis, Comments on "Directed panspermia," Icarus 21, 513-515 (1974); T. H. Jukes, Seawater and the origins of life, Icarus 21, 516-517 (1974); L. E. Orgel, Reply: "Comments on 'Directed panspermia' " and "Seawter and the origins of life," Icarus 21, 518 (1974); A. Banin and J. Navrot, Origin of life: clues from relations between chemical composition of living organisms and natural environments, Science 189, 550-551 (1975).

Chapter 17. The Search for the Building Blocks

1 E. Pflüger, Ueber die physiologische Verbrennung in den lebendigen Organismen, Arch. gesam. Physiol. 10 (1875).
2 A. I. Oparin, Proiskhozhdenie zhizni (The Origin of Life) (Moscow: Ixd. Moskovskiy Rabochiy, 1924).
3 A. I. Oparin, The Origin of Life, trans. S. Morgulis (New York: Macmillan, 1938).
4 J. B. S. Haldane, The origin of life, Rationalist Annual, 148-153 (1928), repr. in Science and Human Life (New York: Harper Brothers, 1933).
5 H. N. Russell, Astrophys. J. 70, 11 (1929), cited in Virginia Trimble, The origin and abundances of the chemical elements, Rev. mod. Phys. 47, 877-986 (1975).
6 J. D. Bernal, The Physical Basis of Life (London: Routledge and Kegan Paul, 1951).
7 J. W. Williams, Problems in protein chemistry, in Colloid Chemistry, Ann. Rev. Phys. Chem. 2, 403-424 (1951).
8 F. Sanger and E. O. P. Thompson, The amino-acid sequence in the glycyl chain of insulin, Biochem. J. 53, 366-374 (1953).
9 W. M. Garrison, D. C. Morrison, J. G. Hamilton, A. A. Benson, and M. Calvin, Reduction of carbon dioxide in aqueous solution by ionizing radiation, Science 114, 416-418 (1951).
10 S. L. Miller, A production of amino acides under possible primitive earth conditions, Science 117, 528-529 (1953).
11 J. D. Watson and F. H. C. Crick, A structure for deoxyribose nucleic



acid, Nature 171, 737-738 (1953).

12 S. L. Miller, Production of some organic compounds under possible primitive earth conditions, J. Am. Chem. Soc. 77, 2351-2361 (1955); S. L. Miller, The mechanism of synthesis of amino acids by electric discharge, Biochim. Biophys. Acta 23, 480-489 (1957); S. L. Miller, The formation of organic compounds on the primtive earth, Ann. N.Y. Acad. Sci. 69, 260-275 (1957).

13 T. E. Pavolvskaya and A. G. Pasynskii, The original formation of amino acids under the action of ultraviolet rays and electric discharges, in The Origin of Life on the Earth, F. Clark and R. L. M. Synge, eds. (New York: Pergamon Press, 1959), pp. 151-157; A. N. Terenin, Photo-synthesis in the shortest ultraviolet, in ibid., pp. 136-139.

14 P. H. Abelson, Paleobiochemistry, Carnegie Inst. of Washington Yearbook, no. 53 (1955-56).

15 W. Groth and H. V. Weyssenhof, Photochemical formation of organic compounds from mixtures of simple gases, Planet. Space Sci. 2, 79-85 (1960).

16 M. Ya. Dodonova and A. I. Sidorova, Photosynthesis of amino acids from a mixture of simple gases under the action of short-wave ultraviolet radiation, Biophys. 6, 164-175 (1961).

17 Carl Sagan and Bishun N. Khare, Long-wavelength ultraviolet photoproduction of amino acids on primitive Earth, Science 173, 417-420 (1971).

18 K. Dose and B. Rajewsky, Strahlenchemische Bildung von Aminen und Aminocarbonsäuren, Biochim. Biophys. Acta 25, 225-226 (1957).

19 N. Friedmann and S. L. Miller, Phenylalanine and tyrosine synthesis under primitive earth conditions, Science 166, 766-767 (1969).

20 N. Friedmann, W. J. Haverland, and S. L. Miller, Prebiotic synthesis of the aromatic and other amino acids, in Molecular Evolution I. Chemical Evolution and the Origin of Life, R. Buvet and C. Ponnamperuma, eds. (Amsterdam: North-Holland Publ. Co., 1971), pp. 123-135.

21 A. Bar-Nun, N. Bar-Nun, S. H. Bauer, and C. Sagan, Shock synthesis of amino acids in simulated primtive environments, Science 168, 470-473 (1970).

22 W. W. W. Rubey, Geologic history of sea water, Bull. Geol. Soc. Am. 62, 1111-1148 (1951).

23 Philip H. Abelson, Chemical events on the primitive earth, Proc. Nat. Acad. Sci. 55, 1365-1372 (1966).

24 Ibid.

25 J. Oró and S. S. Kamat, Amino Acid synthesis from hydrogen cyanide under possible primtive earth conditions, Nature 190, 442-443 (1961).
26 C. Ponnamperuma and N. W. Gabel, Current status of chemical studies on the origin of life, Space Life Sci. 1, 64-96 (1968).
27 Abelson, Chemical events.
27 Abelson, Chemical events.
28 Cited in A. I. Oparin, Genesis and Evolutionary Development of Life (New York: Academic Press, 1968), p. 66.
29 P. Kropokin, in Sovetskaya Geologiya (Soviet Geology), Coll. 47, (Gos. Nauchno-tekhu. Ind., 1955), p. 104.

Chapter 18. Nucleosides, Nucleotides, and ATP

1 J. Oró, Synthesis of adenine from ammonium cyanide, Biochem. Biophys. Res. Comm. 2, 407-412 (1960).
2 J. Oró and A. P. Kimball, Synthesis of puriness under possible earth conditions I. Adenine from hydrogen cyanide, Arch. Biochem. Biophys. 94, 214-227 (1961).
3 J. Oró and S. S. Kamat, Amino acid synthesis from hydrogen cyanide under possible primitive earth conditions, Nature 190, 442-443 (1961).
4 C. U. Lowe, R. W. Rees, and R. Markham, Synthesis of complex organic compounds from simple precursors: formation of amino acids, amino acid polymers, fatty acids and purines from ammonium cyanide, Nature 199, 219-222 (1963).
5 R. A. Sanchez, J. P. Ferris, and L. E. Orgel, Cyanoaetylene in prebiotic synthesis, Science 154, 784-785 (1966).
6 J. P. Ferris, J. C. Joshi, and J. G. Lawless, Chemical evolution XXIX. Pyrimidines from hydrogen caynide, Biosystems 9, 81-86 (1977).
7 Sanchez, Ferris, and Orgel, Cyanoacetylene in prebiotic synthesis; J. P. Ferris, R. A. Sanchez, and L. E. Orgel, Studies in prebiotic synthesis III. Synthesis of pyrimidines from cyanoacetylene and cyanate, J. Mol. Biol. 33, 693-704 (1968).
8 J. Oró and A. C. Cox, Non-enzymic synthesis of 2-deoxyribose, Fed. Proc. 21, 80 (1962).
9 C. Ponnamperuma and P. Kirk, Synthesis of deoxyadenosine under simulated primitive earth conditions, Nature 203, 400-401 (1964).
10 S. L. Miller and L.E. Orgel, The Origins of Life on the Earth (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1974), p. 113.
11 R. A. Sanchez and L. E. Orgel, Studies in prebiotic synthesis V. Synthesis and photoanomerization of pyrimidine nucleoside, J. Mol. Biol.

47, 531-543 (1970).

12 T. V. Waenheldt and S. W. Fox, Phosphorylation of nucleosides with polyphosphoric acid, Biochem. Bionhvs. Acta 134, 1-8 (1967).

13 B. Mason, Principles of Geochemistry (New York: John Wiley, 1966), p. 100.

14 S. L. Miller and M. Parris, Synthesis of pyrophosphates under primitive earth conditions, Nature 204, 1248-1250 (1964).

15 A. W. Schwartz, Phosphate: solubilization and activation on the primitive earth, in Molecular Evolution, R. Buvet and C. Ponnamperuma, eds. (Amsterdam: North-Holland Publ. Co., 1971), pp. 207-223.

16 C. Ponnamperuma and R. Mack, Nucleotide synthesis under possible primitive earth conditions, Science 148, 1221-1223 (1965).

17 R. Lohrmann and L. E. Orgel, Urea-inorganic phosphate mixtures as prebiotic phosphorylating agents, Science 171, 490-494 (1971).

18 R. Osterberg, L. E. Orgel, and R. Lohrmann, Further studies of urea-catalyzed phosphorylation reactions, J. Mol. Evol. 2, 231-234 (1973).

19 J. Brooks and G. Shaw, Origin and Development of Living Systems (New York: Academic Press, 1973).

Chapter 19. Polypeptides

1 F. Hofmeister, Uber Bau and Gruppierung der Eiweisskörper, Ergeb. Physiol. 1, 759-802 (1902).

2 E. Fischer, Ueber einige Derivate des Glykocolls, Alanins und Leucins, Ber. 35, 1095-1106 (1902).

3 H. Schiff, Ueber Polyaspartsäuren, Ber. 30, 2449-2459 (1897).

4 L. Balbiano, Ueber ein neues Glykocollanhydrid, Ber. 34, 1501-1504 (19901); L. Balbiano and D. Hrasciatti, Ueber ein neues Derivat des Glykocolls, Ber. 33, 2323-2326 (1900).

5 T. Curtius and A. Benrath, Ueber benzoyl-pentaglycerla ide Essigsäure (y-Säure), Ber. 37, 1279-1310 (1904).

6 W. H. Carothers, Polymers and polyfunctionality, Trans. Faraday Soc. 32, 39-53 (1936).

7 S. W. Fox and M. Middlebrook, Anhydrocopolymerization of amino acids under the influence of hypothetically primitive terrestrial conditions, Fed. Proc. 13, 211 (1954).

8 Sidney W. Fox and Milton Winitz, Enzymic synthesis of peptide bonds IV. Effects of variation in substrate structure on relative extents of synthesis of benzolyamine acid anilides as catalyzed by papain and ficin, Arch. Biochem. 35, 419-427 (1952).

9 S. W. Fox, Karada, and A. Vegotsky, Thermal polymerization of amino acids and a theory of biochemical origins, Experientia 15, 81-84 (1959).
10 S. W. Fox, Evolution of protein molecules and thermal synthesis of biochemical substances, Am Scientist 44, no. 4, 347-359 (1956).
11 S. W. Fox and K. Harada, Thermal polymerization of amino acids to a product resembling protein, Science 128, 1214 (1958).
12 S. W. Fox and K. Dose, Molecular Evolution and the Origin of Life (San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1972).
13 S. W. Fox and K. Harada, The thermal copolymerization of amino acids common to protein, J. Am. Chem. Soc. 82, 3745-3751 (1960).
14 D. L. Hohlfing and S. W. Fox, Catalytic activities of thermal polyanhydro-o-amino acids, in advances in Catalysis 20, 737-418 (1969).
15 J. Kovacs, I. Koenyves, and A. Pusztai, Darstellung von Polyasparaginsäuren (Polyaspartsäuren aus dem thermischen Autokondensations Produkt der Asparaginsäure), Experientia 9, 459-460 (1953).
16 Fox and Harada, Thermal copolymerization of amino acids common to protein.
17 J. Kovacs, in Polyamino Acid, Polypeptides and Proteins, M. Stahman, ed. (adison: University of Wisconsin Press, 1962), pp. 53-54.
18 K. A. Grossenbacher and C. A. Knight, Amino Acids, peptides and spherules obtained from "primitive earth" gases in a sparking system, in The Origins of Prebiological Systems, S. W. Fox, ed. (New York: Academic Press, (1965), pp. 173-186.
19 P. Stigel, R. D. inard, and C. N. Matthews, cited in C. N. Matthews, The origin of proteins: heteropolypeptides from hydrogen cyanide and water, Origins of Life 6, 155-162 (1975).
20 C. Sagan and B. N. Khare, Long-wavelength ultraviolet photoproduction of amino acids on primitive Earth, Science 173, 417-420 (1971).
21 Clifford N. Matthews and Robert E. Moser, Prebiological protein synthesis, Proc. Nat. Acad. Sci. 56, 1087-1094 (1966); Clifford N. Matthews and Robert E. Moser, Peptide synthesis from hydrogen cyanide and water, Nature 215, 1230-1234 (1967).
22 R. E. Moser, A. K. Claggert, and C. N. Matthews, Peptide formation from diaminomalonitrile (HCN tetramer), Tetrahedron Letters 15, 1599-1603 (1968).
23 C. N. Matthews, the origin of proteins: heteropolypeptides from hydrogen cyanide and water, Origins of Life 6, 155-162 (1975).
24 I. G. Draganic, Z. D. Draganic, S. Jovanovic, and S. V. Ribnikar, Infrared spectral characterization of peptidic material produced by ioni-

zing radiation in aqueous cyanides, J. Mol. Evol. 10, 103-109 (1977).

25 R. Minard, W. Yang, P. Varma, J. Nelson, and C. Matthews, Heteropolypeptides from poly-a-cyanoglycine and hydrogen cyanide: a model for the origin of proteins, Science 190, 387-389 (1975).

26 James P. Ferris, HCN did not condense to give heteropolypeptides on primitive earth, Science 203, 1135-1137 (1979).

27 C. I. Simionescu, F. Dénes, and I. Negulescu, Abiotic synthesis and the properties of some protobiocopolymers, J. Polymer Sc. Polymer Symp. 64, 281-304 (1978).

28 C. Krewson and J. Couch, The hydrolysis of nicotinonitrile by ammonia, J. Am. Chem. Soc. 65, 2256-2257 (1943).

29 S. Akabori, in Origin of Life on Earth, A. I. Oparin, ed. (Oxford: Pergamon Press, 1959), pp. 189-196; S. Akabori, Kagaku (Science) 25, 54 (1955)

30 J. D. Bernal, The Physical Basis of Life, (London: Routledge and Kegan Paul, 1951).

31 M. Paecht- orowitz and A. Katchalsky, Polycondensation of amino acid phosphoanhydrides II. Polymerization of proline adenylate at constant phosphoanhydride concentration, Biochim. Biophys. Acta 140, 14-23 (1967); M. Paecht-Horowitz, J. Berger, and A. Katchalsky, Prebiotic synthesis of polypeptides by heterogeneous polycondensation of amino acid adenylates, Natuer 228, 636-639 (1970); M. Paecht-Horowitz, The mechanism of clay catalyzed polymerization of amino acid adenylatse, Biosystems, 9, 93-98 (1977).

32 A. Katchalsky, Prebiotic synthesis of biopolymers on inorganic templates, Naturwiss. 60, 215-220 (1973).

33 M. Eigen, Self-organization of matter and the evolution of biological macromolecules, Naturwiss. 58, 465-523 (1971).

34 K. Dose, Peptides and amino acids in the primordial hydrosphere, Biosystems 6, 224-228 (1975).

35 N. Lahav and S. Chang, The possible role of solid surface area in condensation reactions during chemical evolution: reevaluation, J. Mol. 8, 357-380 (1976).

36 Bernal, Physical Basis of Life.

37 H. A. Ireland, in Silica in Stdiments, H. A. Ireland, ed., Spec. Publs. Soc. Econ. Paleont. Miner., no. 7 (Tulsa, 1959).

38 G. Millot, Géologie des Argiles altérations, sédimentologie géochimie (Paris: Masson et Cie, Hall, 1970), pp. 45-48.

39 Armin Weiss, Replication and evolution in inorganic systems, Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 20, 850-860 (1981).

Chapter 20. The Enzyme Mystique

1 L. Pauling, R. B. Corey, and H. R. Branson, The structure of proteins: two hydrogen-bonded helical configurations of the polypeptide chain, Proc. Nat. Acad, Sci. 37, 205-211 (1951).

2 J. Jollès, J. Jauregui-Adell, I. Bernier, and P. Jollès, La structure chimique du lysozyme de blanc d'oeuf de poule: Étude détaillée, Biochim. Biophys. Acta 78, 668-689 (1963).

3 R. E. Canfield and A. K. Liu, The disulfide bonds of egg white lysozyme (Mauramidase), J. Biol. Chem. 240, 19997-2002 (1965).

4 D. C., Philips, The hen egg-white lysozyme molecule, Proc. Nat. Acad. Sci. 57, 484-495 (1967).

5 R. E. Dickerson, X-ray analysis and protein structure, in The Proteins, 2d ed., H. Neurath, ed. (New York: Academic Press, 1964), vol. 2, p. 634.

6 Atlas of Protein Sequence and Structure, vol. 5, M. O. Dayhoff, ed. (Washington, D.C.: National Biomedical Research Foundation, 1972), pp. D133, D134.

7 C. Ponnamperuma and N. W. Gabel, Current status of chemical studies on the origin of life, Space Life Sciences 1, 64-96 (1968); C. N. Matthews and R. E. Moser, Peptide synthesis from hydrogen cyanide and water, 215, 1230-1234 (1967); C. U. Lowe, R. W. Rees, and R. Markham, Synthesis of complex organic compounds from simple precursors: formation of amino acids, amino acid polymers, fatty acids and purines from ammonium cyande, Nature 199, 219-222 (1963).

8 R. V. Eck and M. O. Dayhoff, Eovlution of the structure of ferredoxin based on living delics of primitive amino acid sequences, Science 152, 363-366 (1966).

Chapter 21, Gene Splinting

1 G. Schramm, H. Gdotsch, and W. Pollmann, Non-enzymatic synthesis of polysacchadides, nucleosides and nucleic acids and the origin of self-repdoducing systems, Angew. Chem. Intl. Ed. 1, 1-7 (1962); A. W. Schwadtz and S. W. Fox, Condensation of cytidylic acid in the presence of polyphosporic acid, Biochim. Biophys. Acta 134, 9-16 (1967).

2 A. Kornberg, Enzymatic Synthesis of Deoxyribonucleic Acid (New York: Academic Press, 1961).

3 J. Sulston, R. Lohrmann, L. E. Orgel, and H. T. Miles, Non-enzymatic synthesis of oligoadenylates on a polyuridylic acid template, Proc. Nat.

Acad. Sci. 59, 726-733 (1968).
4 B. J. Weismann, R. Lohrmann, L. E. Orgel, E. Schneider-5'-phosphorimidazolide, Science 161, 387 (1968).
5 M. Renz, R. Lohrmann, and L. E. Orgel, Catalysts for the polymerization of adenosine cyclic 2', 3'-phosphate on a poly (U) template, Biochim. Biophys. Acta 240, 463-471 (1973).
6 M. S. Verlander, R. Lohrmann, and L. E. Orgel, Catalysts for the self-polymerization of adenosine cyclic 2', 3'-phosphate, J. Mol. Evol. 2, 303-306 (1973).
7 C. M. Tapiero and J. Nagyvary, Prebiotic formation of cytidine nucleotides, Nature 231, 42-43 (1971).
8 J. Skoda, J. Morávek, and J. Kopecky, Sixth FEBS Meeting Abst., 433 (1969).
9 O. Pongs and P. O. P. T'so, Polymerization of 5'-deoxyribonucleotides with B-imidazolyl-4(5)- propanoic acid. Biochem. Biophys. Res. Comm. 36, 475-481 (1971).
10 J. Ibanez, A. P. Kimball, and J. Oró, the effect of imidazole, cyanamide, and polyornithine on the condensation of nucleotides in aqueous solutions, in Chemical Evolution and the Origin of Life, R. Buvet and C. Ponnamperuma, eds. (Amsterdam: North-Holland Publ. Co., 1971), pp. 171-179.
11 Ibid.
12 J. D. Ibanez, A. P. Kimball, and J. Oró, Condensation of mononucleotides by imidazole, J. Mol. Evol. 1, 112-114 (1971).
13 E. Stephen-Sherwood, D. G. Odom, and J. Oró, The prebiotic synthesis of deoxythymidine oligonucleotides, J. Mol. Evol. 3, 323-330 (1974).
14 K. L. Agarwal, H. Büch, M. H. Caruthers, N. Gupta, H. G. Khorana, K. Kleppe, A. Kumar, E. Ohtsuka, W. L. Ra bhanary, J. H. Van de Sande, V. Sgaramella, H. Weber, and T. Yamada, Total synthesis of the gene for an alanine transfer ribonucleic acid from yeast, Nature 237. 27-34 (1970).

Chapter 22. "Particles of Life"

1 M. Traube, Experimente zur Theorie der Zellenbildung und Endosmose, Arch. für Anat. Physiol. und Wiss. Med. 87, 129-165 (1867).
2 O. Bütschli, Untersuchungen über microscopische Schäume und das Protoplasma (Leipzig, 1892).
3 L. Rhumbler, Aus dem Lückengebiet swischen organismischer und anorganismischer Materie, Ergebn. Anat. Entwicklungsgesch. 15, 1-38 (1906).

4 S. Le Duc, The Mechanism of Life, trans. W. Deane Butcher (New York: Rebman Co., 1914).
5 Martin Kuckuck, L'universe, être vivant. La solution des problèmes de la matière et la vie à l'aide de la biologie universelle (Geneva: Librarie Kündig, 1911).
6 Wo. Ostwald and R. Köhler, Ueber die flüssige Endmischung von Gelatine durch Sulfosalizylsäure and über die Beziehungen dieses Systems zur Phasenregel, Kolloid Z. 43, 131-150 (1927).
7 H. G. Bungenberg de Jong, Die Konzervation und ihre Bedeutung für die Biologie, Protoplasma 15, 110-173 (1932).
8 A. I. Oparin, The Origin of Life, trans. S. Morgulis (New York: Macmillan, 1938).
9 A. I. Oparin, Biochemical processes in the simplest structures, in The Origin of Life on the Earth, F. Clark and R. L. M. Synge eds. (New York: Pergamon Press, 1959), pp. 428-436.
10. A. I. Oparin, the pathways of the primary development of metabolism and artificial modeling of this development in coacervate drops, in The Origins of Prebiological Systems, S. W. Fox, ed. (New York: Academic Press, 1965), pp. 331-348.
11 A. L. Herrara, A new theory of the origin and nature of life, Science 96, 14 (1942).
12 K. A. Grossenbacher and C. A. Knight, Amino acids, peptides, and spherules obtained from "primitive earth" gases in a sparking system, pp. 173-186.
13 C. I. Simionescu, F. Dénes, and M. Macoveau, Synthesis of some amino acids, sugars and peptides in cold plasma. Electron-microscopic studies on some proteid forms (III), Biopolymers 12, 237-241 (1973).
14 A. E. Smith, J. J. Silver, and G. Steinman, Cell-like structures from simple molecules under simulated primitive earth conditions, Experientia 24, 36-38 (1968).
15 S. W. Fox, K. Harada, and J. Kendrick, Production of spherules from synthetic proteinoid and hot water, Science 129, 1221-1223 (1959).
16 S. W. Fox and S. Yuyama, Effects of the Gram stain on microspheres from thermal polyamino acids, J. Bacteriol. 85, 279-283 (1963).
17 S. W. Fox, R. J. McCauley, and A. Wood, A model of primitive heterotrophic proliferation, Comp. Biochem. Physiol. 20, 773-778 (1967).
18 S. W. Fox and S. Yuyama, Abiotic product of primitive protein and formed microparticles, Ann. N. Y. Acad. Sci. 108, 487-494 (1963).
19 L. L. Hsu, S. Brooke, and S. W. Fox, Conjugation of proteinoid micro-

spheres: a model of primordial communication, Curr. Mod. Biol. 4, 12 (1971).

20 L. L. Hsu, and S. W. Fox, Interaction between diverse proteinoids and microspheres in simulation of primordial evolution. Biosystems 8, 89-101 (1977).

21 J. D. Bernal, The Origin of Life (London: Weidenfeld and Nicholson, 1967), p. 125.

22 S. W. Fox, R. J. McCauley, P. Mongomery, T. Fukushima, K. Harada, and C. R. Windsor, Membrane-like properties in microsystems assembled from synthetic protein-like polymers, in Physical Principles of Biological Membranes, F. Snell, J. Wolken, G. Iverson, and J. Lam, eds. (New York: Gordon and Breach, 1969), pp. 417-432.

23 W. Stillwell, Facilitated diffusion of amino acids across bimolecular lipid membranes as a model for selective accumulation of amino acids in a primordial protocell, Biosystems 8, 111-117 (1976).

24 Lynn Margulis, ed., Origins of Life, (New York: Gordon and Breach, 1970), p. 157.

25 S. W. Fox, Simulated natural experiments in spontaneous organization of morphological units from proteinoid, in The Origins of Pre biological Systems, pp. 361-382.

26 K. Bahadur and S. Ranganayak, Synthesis of Jeewanu. The units capable of growth, multiplication and metabolic activity. I. Preparation of units capable of growth and division and having metabolic activity, Zentbl. Bakt. Parasitkde. (II) 117, 567-574 (1964).

27 K. Bahadur, Synthesis of Jeewanu. The units capable of growth, multipllication and metabolic activity. III. Preparation of microspheres capable of growth and division by building and having metabolic activity with peptides prepared thermally, Zentbl. Bakt. Parasitkde. (II) 117, 585-602 (1962).

28 A. I. Oparin, Genesis and Evolutionary Development of Life (New York: Academic Press, 1968), pp. 127-151.

29 S. W. Fox, Origin of the cell: experiments and premises, Naturwiss. 60, 349-368 (1973).

Chapter 23. The Vital Envelope

1 A. D. Bangham and R. W. Horne, Negative staining of phospholipids and their structural modification by surface active agents as observed in the electron microscope, J. Mol. Biol. 8, 660-668 (1964).

2 W. Stillwell, Facilitated diffusion of amino acids across bimolecular

lipid membranes as a model for selectve accumulation of amino acids in a primordial protocell, Biosystems 8, 111-117 (1976).

3 William Stilwell and Aruna Rau, Primordial transport of sugars and amino acids via Schiff bases, Origins of Life 11, 243-254 (1981).

4 William Stillwell, Facilitated diffusion as a method for selective accumulation of materials from the primordial oceans by a lipid-vesicle protocell, Origins of Life, 10, 277-292 (1980).

5 R. J. Goldacrs, Surface films, their collapse on compression, the shapes and sizes of cells and the origin of life, in Surface Phenomena in Chemistry and Biology, J. F. Danielli, K. G. A. Pankhurst, and A. C. Riddiford, eds. (New York: Pergamon Press, 1958), pp. 278-298.

6 W. R. Hargreaves, S. J. Mulvhill, and D. W. Deamer, Synthesis of phospholipids and membranes in prebiotic conditions, Nature 266, 78-80 (1977).

7 W. R. Hargreaves and D. W. Deamer, Origin and early evolution of bilayer membransc, in Light Transducing Membranes: Structure, Function, and Evolution, D. W. Deamer, ed. (New York: Academic Press, 1978).

8 D. W. Deamer and G. L. Burchfield, Encapsulation of macromolecules by lipid vesicles under simulated prebiotic conditions, J. Mol. Evol. 18, 203-204 (1982).

9 D. W. Deamer, personal communication.

Chapter 24. The Emergence of Cells

1 D. A. Usher, Early chemical evolution of nucleic acids: a theoretical model, Science 196, 311-313 (1977).

2 W. Stillwell, On the origin of photophosphorylation, J. Theor. Biol. 65, 479-497 (1977).

3 Atlas of Protein Sequence and Structure, vol. 5, M. O. Dayhoff, ed. (Washington, D.C.: National Biomedical Research Foundation, 1972), pp. 111-117.

4 F. H. C. Crick, S. Brenner, A. Klug, and G. Pieczenik, A speculation on the origin of protein synthesis, Origins of Life 7, 389-397 (1976).

5 R. V. Eck and M. O. Dayhoff, Evolution of the structure of ferredoxin based on living relics of primitive amino acid sequences, Science 152, 363-366 (1966).

6 P. J. McLaughlin and M. O. Dayhoff, Eukaryotes versus prokaryotes: an estimate of evolutionary distance, Science 168, 1469-1471 (1970).

7 Atlas of Protein Sequence and Structure, vol. 5, p. 116.



Chapter 25. The Phenomenal Cell

1 Philip H. Abelson, Chemical events on the primitive earth, Proc. Nat. Acad. Sci. 55, 1365-1372 (1966).
2 H. J. Morowitz, Physical background of cycles in biological systems, J. Theor. Biol. 13, 60-62 (1966).
3 Ch. Degani and M. Halmann, Chemical evloution of carbohydrate metabolism, Nature 216, 1207 (1967).
4 K. Decker, K. Decker, K. Jungermann, and R. K. Thauer, Wege der Energiegewinnung in Anaerobiern, Angew. Chem. 82, 153-173 (1970).
5 R. Bachofen, B. B. Buchanan, and D. I. Arnon, Ferredoxin as a reductant in pyruvate synthesis by a bacterial extract, Proc. Nat. Acad. Sci. 51, 690-694 (1964).
6 W. E. Balch, L. Magrum, G. Fox, R. Wolfe, and C. Woese, An ancient divergence among bacteria, J. Mol. Evol. 9, 305-311 (1977).
7 Carl R. Woese, A comment on methasogesic bacteria and the primitive ecology, J. Mol. Evol. 9, 369-371 (1977).
8 F. R. Japp, Stereochemistry asd vitalism, Nature 58, 452 1898).
9 J. B. Van't Hoff, The Arrangement of Atoms in Space, 2d ed. (London: Longmans, 1898).
10 W. Kuhn and E. Braun, Photochemische Erzeugung optisch aktivar Stoffe, Naturwiss. 17, 227-228 (1929).
11 K. Harada, Origin and development of optical activity of organic compounds on primordial earth, Naturwiss. 57, 114-119 (1970).
12 F. Vester, T. I. V. Ulbridht, and A. W. Susyar, Evidence for circular polarization of Brems-stdahlusg produced by beta rays, Phys. Rev. 106, 826-829 (1957).
14 H. P. Noyes, W. A. Bonser, and J. A. Tomlin, On the origis of biological chirality via natural beta-decay, Origins of Life 8, 21-23 (1977).
15 S. L. Miller and L. E. Orgel, The Origins of Life os the Earth (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Isc., 1974), p. 171.
16 G. Wald, Origin of optical activity. Ass. N.Y. Acad. Sci. 69, 352-368 (1957).
17 Harold F. Blum, Time's Arrow and Evolution, 2d ed. (New York: Harper and Bros., 1962), p. 172.

Chapter 26. Other Ways, Other Places

1 M. E. Jones and F. Lipmann, Chemical and enzymatic synthesis of carbamyl phosphate, Proc. Nat. Acad. Sci. 46, 1194-1205 (1960).

2 I. S. Kulaev, Inorganic polyphosphates in evolution of phosphorus metabolism, in Chemical Evolution and the Origin of Life, R. Buvet and C. Ponnamperuma, eds. (Amsterdam: North-Holland Publ. Co. 1971), pp. 458-465.
3 H. Baltscheffsky, Inoragnic prophosphate and the origin and evolution of biological energy transformation, in Chemical Evolution and the Origin of Life, pp. 466-473.
4 Atlas of Protein Sequence and Structure, vol. 5, M. O. Dayhoff, ed. (Washington, D.C.: National Biomedical Research Foundation, 1972), p. 117.
5 W. Gevers, H. Kleinkauf, and F. Lipmann, The activation of amino acids for biosynthesis of gramicidin S, Proc. Nat. Acad. Sci. 60, 269-276 (1968); Gevers, Kleinkauf, and Lipmann, Interrelationship between activation and polymerization of gramicidin S biosynthesis, Proc. Nat. Acad. Sci. 62, 226-233 (1969).
6 R. Roskoski, Jr., H. Kleinkauf, W. Gevers, and F. Lipmann, Nonribosomal polypeptide synthesis: activation and condensation of amino acids in tyrocidin formation, Fed. Proc. 29, 468 (1970).
7 W. Gevers, H. Kleinkauf, and F. Lipmann, Peptidyl transfers in gramicidin S biosynthesis from enzyme-bound thioster intermediates, Proc Nat. Acad. Sci. 63, 1335-1342 (1969).
8 R. A. Gibbons and G. D. Hunter, Nature of the scrapie agent, Nature 215, 1041-1043 (1967).
9 J. S. Griffith, Self-replication and scrapie, Nature 215, 1043-1044 (1967).
10 J. B. McClendon, Elemental abundances as a factor in the origins of mineral nutrient requirements, J. Mol. Evol. 8, 175-195 (1976).
11 A. G. Gairss-Smith, The origin of life and the nature of the primitive gene, J. Theoret. Biol, 10, 53-88 (1965).
12 P. J. E. Peebles, The structure asd composition of Jupiter and Saturn, Astrophys. J. 140, 328-347 (1964).
13 Cited in R. Wildt, H. J. Smith, E. E. Saltpeter, and A. G. W. Cameron, The planet Jupiter, Physics Today 16, 19-23 (May 1963).
14 Ibid.
15 F. Woeller asd C. Ponnamperuma, Organic synthesis in a simulated Jovian atmosphere, Icarus 10, 386-392 (1969).

Chapter 27. Organic Compousds is the Universe

1 J. J. Berzelius, Ueber Meteorsteine, Ann. Phys. und Chem. 33, 113 (1834).

2 F. Wöhler, Uber die Bestandteile des Meteorsteines von Kaba in Ungarn, Sitz. Math. Naturwiss. Akad. Wien 33, 205-209 (1859).
3 S. Cloëz, Note sur la composition chimique de la pierre météorique d'Orgueil, Compt. rend. 58, 986 (1864); S. Cloëz, Analyse chimique de la pierre météorique d'Orgueil, Compt. rend. 59, 37 (1864).
4 P. Berthelot, La matière carbonneuse de la météorite d'Orgueil purifiée autant que possible par les dissolvants, s'est ensuite oxydée entierement, J. Parkt. Chem. 106, 254 (1869).
5 G. Mueller, The properties and theory of genesis of the carbonaceous complex within the cold bokevelt meteorite, Geochim. Cosmochim. Acta 4, 1-10 (1953).
6 B. Mason, Origin of chondrules and chondritic meteorites, Nature 186, 230-231 (1960).
7 B. Nagy, W. G. Meinschein, and D. J. Hennessy, Mass spectroscopic analysis of the Orgueil meteorite: evidence for biogenic hydrocarbons, Ann. N. Y. Acad. Sci. 93, 25-35 (1961).
8 G. Claus and B. Nagy, A microbiological examination of some carbonaceous chondrites, Nature 192, 594-596 (1963).
9 Edward Anders, Meteoritic hydrocarbons and extraterrestrial life, Ann. N. Y. Acad. Sci. 93, 649-664 (1963).
10 M. H. Briggs and G. Mamikunian, Organic constituents of carbonaceous chondrites, Science 149, 1455-1459 (1965).
12 E. Anders, Origin, age, and composition of meteorites, Space Sci. Rev. 3, 583-714 (164).
13 Studier, Hayatsu, and Anders, Organic compounds in carbonaceous chondrites.
14 M. O. Dayhoff, E.R. Lippincott, and R. V. Eck. Thermodynamic equilibria in prebiological atmospheres, Science 146, 1461-1464 (1964).
15 A. C. Cheung, D. M. Rank, C. H. Townes, D.D. Thornton, and W. J. Welch, Detection of NH^3 molecules in the interstellar medium by their microwave emission, Phys. Rev. Letters 21, 1701-1705 (1968).
16 A. C. Cheung, D. M. Rank, C. H. Townes, D. D. Thornton, and W.J. Welch, Detection of water in interstellar regions by its microwave radiation, Nature 221, 626-628 (1969).
17 L. E. Snyder and D. Buhl, Water-vapor clouds in the interstellar medium, Astrophys. J. 155, 165-170 (1969).
18 R. W. Wilson, K. B. Jeffreys, and A. A. Penzias, Carbon monoxide in the Orion Nebula, Astrophys. J. 161, 143-144 (1970).
19 L. E. Ssyder and D. Buhl, Radio emission from HCN, IAU Circular no.

2251 (1970).

20 L. E. Snyder, D. Buhl, B. Zuckerman, and P. Palmer, Microwave detection of interstellar formaldehyde, Phys. Rev. Letters 22, 679-681 (1969).

21 B. B. Turner, Radio emission from interstellar cyan‌ethylene, IAU Circular no. 2268 (1970).

22 David Buhl, Chemical constituents of interstellar clouds, Nature 234, 332-334 (1971).

23 F. Fitch, H. P. Scharcz, and E. Anders, "Organized elements" in carbonaceous chondrites, Nature 193, 1123-1125 (1962).

24 Michael H. Briggs and G. Barrie Kitto, Complex organic microstructures in the Mokoia meteorite, Nature 193, 1126-1127 (1962).

25 B. Nagy, G. Claus, and D. Hennessy, Organic particles embedded in minerals in the Orgueil and Ivuna carbonaceous chondrites, Nature 193, 1129-1133 (1962).

26 F. W. Fitch and E. Anders, Observations on the nature of the "organized elements" in carbonaceous chondrites, Ann. N. Y. Acad. Sci. 108,

27 E. T. Degens and M. Bajor, Amino acids and sugars in the Bruderheim and Murray meteorites, Naturwiss. 49, 605-606 (1962).

28 I. R. Kaplan, E. T. Degens, and J. H. Reuter, Organic compounds in stony meteorites, Geochim. Cosmochim. Acta 27, 805-834 (1963).

29 Paul B. Hamilton, Amino acids in hands, Nature 205, 284-285 (1965).

30 J. Oró and H. B. Skewes, Free amino acids on human fingers: the question of contamination in microanalysis, Nature 207, 1042-1045 (1965).

31 K. Kvenvoldèn, J. Lawless, K. Pering, E. Peterson, J. Flores, C. Ponnamperuma, I. R. Kaplan, and C. Moore, Evidence for extraterrestrial amino acids and hydrocarbons in the Murchison meteorite, Nature 228, 923-926 (1970).

32 K. . Kvenolden, J. G .Lawless, and C. Ponnamperuma, Non-protein amino acids in the Murchison meteorite, Proc. Nat. Acad. Sci. 68, 486 (1971).

33 G. Dungworth, Optical configuration and the racemization of amino acids in sediments and fossils, Chem. geol. 17(2), 135-153 (1976).

34 S. W. Fox and K. Harada, Acculated anolysis of amino acid precursors in returned lunar samples, in Proceedings of the Fourth Lunar Science Conference, Cosmochim. Acta, vol. 2, suppl. 4 (New York: Pergamon Press, 1973), pp. 2241-2248.

Chapter 28. Gaia

1 Preston Cloud and Aharon Gibor, The oxygen cycle, Sci. Amer. 223(3), 110-123 (1970).

2 J. E. Lovelock, Gaia as seen through the atmosphere, Atmos. Environ. 6, 579-580 (1972); J. E. Lovelock and L. Margulis, Homeostatic tendencies of the Earth's atmosphere, Origins of Life 1, 12-22 (1974); James Lovelock and Lynn Margulis, Atmosphere homeostasis: The Gaia Hypothesis, Tellus 26, 1-10 (1974); James Lovelock and Sydney Epton, The quest for Gaia, The New Scientist 65, 304-309 (1975); Lynn Margulis and James E. Loveloc, The atmosphere as circulatory system of the biosphere—The Gaia Hypothesis, The CoEvolution Quarterly (Summer, 1975), pp. 31-41.

SELECT BIBLIOGRAPHY

Bernal, J. D. The Origin of Life, London: Weidenfeld and Nicholson, 1967.

Blum, H. F. Time's Arrow and Evolution. New York: Harper and Row, 1962.

Brooks, J., and G. Shaw. Origin and Development of Living System. New York: Academic Press, 1973.

Calvin, M. Chemical Evolution. New York and Oxford: Oxford University Press, 1969.

Fox, S. W., ed. The Origins of Prebiological Systems. New York: Academic Press, 1965.

Fox, S. W., and K. Dose. Molecular Evolution and the Origins of Life. San Francisco: W. H. Freeman & Co., 1972.

Kenyon, D. H., and G. Steinman. Biochemical Predestination. New York: McGraw-Hill Co., 1969.

Kveolden, K. A. ed. Geochemistry and the Origin of Life, New York: Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., 1974.

Miller, S. L., and L. Orgel. The Origins of Life os the Earth. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1974.

Oparin, A. I. Genesis and Eovlutionary Development of Life. New York: Academic Press, 1968.

———. The Chemical Origin of Life. Sprinfield, Ill.: Chas. C. Thomas, 1964.

Journals on the Origin of Life

Origins of Life

Biosystems

J. Molecular Evolution

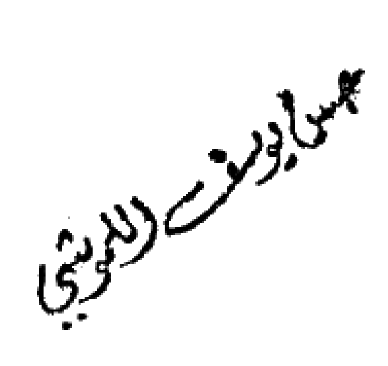
J. Precambrian Research

The italicized numbers refer to thepages where the reference article is cited.

Author Index

Author Index

الفهرست



وزارة الثقافة والاعلام

دار الشؤون الثقافية العامة

بغداد ١٩٨٩

الغلاف رياض عبد الكريم

طبع في مطابع دار الشؤون الثقافية العامة

السعر خمسة دنانير